

(19)



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU103058

(12)

BREVET D'INVENTION**B1**

(21)

N° de dépôt: LU103058

(51)

Int. Cl.:
B82Y 30/00

(22)

Date de dépôt: 05/01/2023

(30)

Priorité:

(72)

Inventeur(s):
KUNZE Tim – Allemagne, ALAMRI Sabri – Allemagne

(43)

Date de mise à disposition du public: 05/07/2024

(74)

Mandataire(s):
WHITE IP Patentanwaltskanzlei –
01097 Dresden (Allemagne)

(47)

Date de délivrance: 05/07/2024

(73)

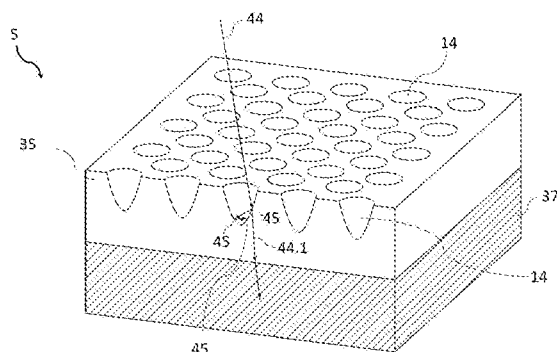
Titulaire(s):
FUSION BIONIC GMBH – 01159 Dresden (Allemagne)

(54)

OBERFLÄCHENSTRUKTURIERTES SUBSTRAT MIT EINEM SCHWARZMARKIERUNGSBEREICH.

(57)

Die vorliegende Erfindung betrifft ein oberflächenstrukturiertes Substrat, wobei das oberflächenstrukturierte Substrat wenigstens eine erste äußere Oberfläche mit einem Schwarzmarkierungsbereich aufweist, die durch einen strukturierten Bereich und einen unstrukturierten Bereich gebildet ist. Dabei weist der strukturierte Bereich ein erstes Interferenzpixel auf, welches aus einer ersten periodischen Struktur gebildet wird. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenstrukturierten Substrates.

**Fig. 21**

OBERFLÄCHENSTRUKTURIERTES SUBSTRAT MIT EINEM SCHWARZMARKIERUNGSBEREICH

TECHNISCHES GEBIET

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein oberflächenstrukturiertes Substrat, wobei das oberflächenstrukturierte Substrat wenigstens eine erste äußere Oberfläche mit einem Schwarzmarkierungsbereich aufweist, die durch einen strukturierten Bereich und einen unstrukturierten Bereich gebildet ist. Dabei weist der strukturierte Bereich ein erstes Interferenzpixel auf, welches aus einer ersten periodischen Struktur gebildet wird. Weiterhin
- 10 betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenstrukturierten Substrates.

STAND DER TECHNIK

- 15 Industrielle Beschriftungen und Markierungen sind je nach Einsatzzweck immer höheren Anforderungen ausgesetzt. Besonders dunkle und kontrastreiche Beschriftungen, die unter verschiedenen Betrachtungswinkeln blickstabil sind, können dabei durch die Schwarzmarkierung erreicht werden, einem Laserbearbeitungsverfahren, welches den zusätzlichen Vorteil hat, dass es keinen Oberflächenabtrag des Materials zur Folge hat.
- 20 Strukturen im Nanometerbereich werden dabei durch extrem kurze Laserpulse erzeugt, wodurch eine beständige und tiefe Schwärzung der behandelten Oberflächenbereiche entsteht. Durch Ultrakurzpuls-Laser, welche eine Pulsdauer im Bereich von Pikosekunden oder Femtosekunden aufweisen, können zudem korrosionsbeständige Markierungen erzeugt werden, welche beispielsweise für Medizinprodukte wie Operationsbesteck oder Implantate
- 25 eine wesentliche Bedeutung haben.

- Beispielsweise wird in der **CN 108436285 A** eine Lasermarkierungsvorrichtung und ein Verfahren zur Schwarzmarkierung von rostfreiem Stahl offenbart. Bei dem Verfahren zur Schwarzmarkierung wird das von einer Energiequelle abgegebene Laserlicht durch ein
- 30 Galvanometer-Abtastsystem abgelenkt und anschließend durch einen optischen Fokussierspiegel fokussiert und auf die Oberfläche eines Werkstücks gerichtet. Der Laser emittiert dabei einen Laserpuls mit einer Wellenlänge von 1064 ± 5 nm, einer Pulsdauer von 100 - 130 ns und einer Durchschnittsleistung von 20 W.

- In der **WO 2018/189988 A1** wird ein Verfahren zur Herstellung eines Metallprodukts beschrieben, bei welchem ebenfalls eine Schwarzmarkierung durchgeführt wird. Das Verfahren umfasst das Abtasten eines Grundflächenlaserstrahls in einer vorgeschriebenen ersten Richtung, während der Grundflächenlaserstrahl auf eine Oberfläche eines laminierten Körpers gestrahlt wird, und das Wiederholen des Abtastvorgangs für eine Vielzahl von Reihen, um einen Grundbereich auf der Oberfläche des laminierten Körpers zu bilden. Weiterhin erfolgt das Abtasten eines Markierungslaserstrahls in einer vorgeschriebenen zweiten Richtung, während der Markierungslaserstrahl auf die Oberfläche des laminierten Körpers gestrahlt wird, und das Wiederholen des Abtastvorgangs für eine Vielzahl von Reihen, um eine schwarze Markierung zu bilden, die aus der Oxidation der Oberfläche des laminierten Körpers resultiert. Die zweite Richtung ist von der ersten Richtung verschieden. Ein Identifikationscode mit einem vorgeschriebenen Muster wird durch eine Kombination aus dem Basisbereich und der schwarzen Markierung gebildet.
- 15 Nachteilig sind die bekannten Verfahren vergleichsweise langsam, was die Prozessgeschwindigkeit stark limitiert. Dadurch sind solche Verfahren sehr aufwändig und somit kostenintensiv.

AUFGABE

- 20 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die technische Aufgabe zugrunde, ein Substrat mit wenigstens einer ersten äußeren Oberfläche zur Verfügung zu stellen, welche einen Schwarzmarkierungsbereich aufweist, wobei der Schwarzmarkierungsbereich über ein einfaches, kostengünstiges und effektives Verfahren erzeugt werden kann.
- 25 Ferner ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem derartige laseroberflächenstrukturierte Bauteile gezielt und zuverlässig reproduzierbar mit vorgegebenen Eigenschaften hergestellt werden können.

LÖSUNG

- 30 Die Aufgabe wird durch ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie ein Verfahren mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Ausführungsbeispielen zu entnehmen.
- 35 Die Aufgabe wird insbesondere durch ein oberflächenstrukturiertes Substrat, vorzugsweise ein laseroberflächenstrukturiertes Substrat, gelöst, wobei das oberflächenstrukturierte

Substrat wenigstens eine erste äußere Oberfläche mit einem Schwarzmarkierungsbereich aufweist.

LU103058

white ip
patent & legal
//

5 Der Schwarzmarkierungsbereich des oberflächenstrukturierten Substrats ist durch einen strukturierten und einen unstrukturierten Bereich gebildet. Der strukturierte Bereich weist erfindungsgemäß ein erstes Interferenzpixel auf, wobei das erste Interferenzpixel aus einer ersten periodischen Struktur aus wenigstens drei von einer ebenen Oberfläche abweichenden Oberflächenunebenheiten gebildet wird. Die periodische Struktur ist in diesem Sinne als periodische, topographische Struktur ausgebildet. Derartige
10 Oberflächenunebenheiten sind dabei Änderungen in der Oberfläche, welche sowohl als Vertiefungen als auch als Erhöhungen ausgebildet sein können. Insbesondere kann es sich dabei um linienförmige Strukturen, also rillenförmige Vertiefungen oder rillenförmige Erhöhungen handeln. Weiterhin können solche Oberflächenunebenheiten als punktförmige Strukturen, insbesondere als inverse Zapfen oder als Zapfen ausgebildet sein. Es können
15 dabei auch verschiedene Arten von Oberflächenunebenheiten gleichzeitig auf einer Oberfläche oder auf einer Grenzfläche vorliegen.

Dabei weist eine rillenförmige Vertiefung oder eine rillenförmige Erhöhung eine Ausdehnung in einer ersten Dimension auf, die deutlich größer, bevorzugt wenigstens 10-fach größer, ist
20 als die Ausdehnung in den beiden anderen Dimensionen. Die rillenförmige Vertiefung oder die rillenförmige Erhöhung verlaufen dabei parallel zur Oberfläche, welche den strukturierten Bereich aufweist, insbesondere parallel zur ersten äußeren Oberfläche des Substrats oder der Deckschicht.

25 Der Abstand zweier benachbarter Oberflächenunebenheiten innerhalb eines Interferenzpixels, insbesondere innerhalb des ersten Interferenzpixels, beträgt eine erste Interferenzperiode (p_1). Erfindungsgemäß liegt die erste Interferenzperiode, also die Periode der ersten periodischen Struktur bzw. der Abstand von einem Mittelpunkt oder einer Mittellinie einer Vertiefung zu einer in einer Periodenrichtung benachbart angeordneten
30 Vertiefung, im Bereich von 50 nm bis 200 μm , vorzugsweise im Bereich von 50 nm bis 50 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 5 μm bis 45 μm .

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung liegt die erste Interferenzperiode im Bereich von 10 μm bis 35 μm , bevorzugt im Bereich von 15 μm bis 30 μm . Dabei erscheint die
35 Oberfläche im strukturierten Bereich schwarz, was als Schwarzmarkierung bezeichnet wird.

Bei einer Interferenzperiode von weniger als 5 μm treten verstärkt sogenannte Regenbogeneffekte auf, bei denen für den Betrachter meist unerwünschte Farbverläufe wahrnehmbar sind.

- 5 Erfindungsgemäß weist der strukturierte Bereich weiterhin mehrere versetzt zueinander angeordnete Interferenzpixel aus jeweils einer periodischen Struktur aus wenigstens drei Oberflächenunebenheiten auf, wobei wenigstens 50% der versetzt zueinander angeordneten Interferenzpixel einen Überlapp von wenigstens 95%, bevorzugt von wenigstens 97%, besonders bevorzugt von wenigstens 99%, ganz besonders bevorzugt von wenigstens 99,5% mit einem benachbarten Interferenzpixel, vorzugsweise mit mehreren benachbarten Interferenzpixeln aufweisen.

- Als „Überlapp der Interferenzpixel“ wird dabei eine räumliche Überlappung zweier Interferenzpixel verstanden, also die Fläche, die zwei überlappende Interferenzpixel
15 gemeinsam aufweisen verglichen mit der Fläche, die ein einzelnes der beiden Interferenzpixel beinhaltet. Da jedes Interferenzpixel bei der Applikation mittels Laserinterferenzstrukturierung durch einen Puls gebildet wird, wird dieser Überlapp auch als Puls-zu-Puls-Überlapp bezeichnet. Ein Interferenzpixel weist dabei eine Fläche auf, welche durch einen Kreis definiert wird, welcher durch die äußeren Ränder der
20 Oberflächenunebenheiten definiert wird. Dieser Kreis ist der größte Kreis, der dabei gerade noch eine der enthaltenen Oberflächenunebenheiten berührt oder tangiert. Die Größe des Überlapps ist im Zweifel auf das Interferenzpixel mit der kleineren Fläche bezogen.

- Die überlappenden Interferenzpixel können dabei die gleichen periodischen Strukturen aus
25 jeweils wenigstens drei Oberflächenunebenheiten, insbesondere in Form von inversen Zapfen, Zapfen, rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen, aufweisen oder sich in ihren periodischen Strukturen voneinander unterscheiden. Der strukturierte Bereich kann somit in einer Ausführungsform mehrere versetzt zueinander angeordnete erste Interferenzpixel oder erste und zweite Interferenzpixel aufweisen, wobei die periodischen
30 Strukturen der zweiten Interferenzpixel von den periodischen Strukturen der ersten Interferenzpixel abweichen. Ebenso können dritte oder weitere Interferenzpixel mit ebenfalls abweichenden periodischen Strukturen versetzt zu den ersten und/oder zweiten Interferenzpixeln angeordnet sein.

- 35 Die repetitiv nebeneinander angeordneten Interferenzpixel werden dabei zunächst entlang einer ersten Reihe erzeugt. Daraufhin wird eine versetzt dazu angeordnete weitere Reihe erzeugt. Der Interferenzpixel-zu-Interferenzpixel Überlapp (hierin auch nur kurz als "Pixel-zu-

Pixel Überlapp“ oder „Überlapp der Interferenzpixel“ oder bei Applikation mittels Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere mittels Laserinterferenzstrukturierung als „Puls-zu-Puls Überlapp“ bezeichnet) ist vorzugsweise sehr hoch innerhalb einer Reihe, also vorzugsweise wenigstens 95%, vorzugsweise wenigstens 97 %, während der Überlapp zwischen den Reihen gering ist. So können definierte Strukturen schnell und effektiv erzeugt werden.

Ein hoher Pixel-zu-Pixel-Überlapp kann aber auch dadurch erzeugt werden, dass eine erste Reihe so erzeugt wird, dass ein geringerer Überlapp, beispielsweise im Bereich von 10 % bis 20 %, oder auch kein Überlapp gegeben ist, wobei daraufhin die Reihe erneut erzeugt wird, wobei die Position der erneut erzeugten Reihe einen großen Überlapp von wenigstens 95 %, vorzugsweise wenigstens 97 %, zu der zuvor erzeugten Reihe aufweist. Dabei kann der Überlapp also durch ein mehrfaches Rastern einer Reihe erzeugt werden.

Bei einer Multipulsbearbeitung, also sowohl bei einer Mehrfachbestrahlung als auch bei einem großen Puls-zu-Puls-Überlapp treten Inkubationseffekte auf, sodass vorteilhaft der erste Puls die Absorptionseigenschaften derart verändert (z.B. durch Änderung der Rauheit, o.ä.), dass der zweite Puls nominal etwas mehr abträgt im Vergleich dazu, wenn es den ersten Puls nicht gegeben hätte.

Außerdem kann eine leichte Erwärmung des Substrates auch dazu führen, dass Abtragsschwellen verändert, idealerweise leicht erhöht, werden, wobei dies insbesondere bei Pulsdauern von über 500 ps relevant ist.

Je größer dabei der Überlapp ist, desto größer ist die Strukturtiefe der entstehenden Strukturen, insbesondere der Oberflächenunebenheiten, und desto stärker können die auftretenden optischen Effekte erscheinen, wodurch einem Betrachter der strukturierte Bereich des Schwarzmarkierungsbereiches dunkler (und schwärzer) erscheint.

Die Strukturierung mittels Puls-zu-Puls Überlapp hat den Vorteil, dass zumindest einzelne erzeugte Strukturelemente innerhalb eines ersten, zweiten und/oder weiteren Interferenzpixels mehrfach bestrahlt werden. Hierdurch kann durch Selbstorganisationsprozesse eine der periodischen Punktstruktur überlagerte quasi-periodische Linienstruktur als Wellenstruktur, insbesondere sog. LIPSS, ausgebildet werden. Vorteilhaft sind so hierarchische Strukturen auf der Oberfläche des Substrats schnell und somit effektiv erzeugbar, wodurch die Oberflächenrauheit der Wandung einer periodischen Punktstruktur insbesondere im Nano- und/oder Submikrometerbereich, insbesondere im

Nanometerbereich, erhöht werden kann, was eine Vergrößerung der Oberfläche zur Folge hat.

LU103058

white ip
patent & legal
//

Der **strukturierte Bereich** wird dabei durch die unterschiedlichen, aufgebrachten Strukturen gebildet. Diese können eine einzelne Linienstruktur, eine einzelne Punktstruktur, mehrere überlagerte Linienstrukturen, mehrere überlagerte Punktstrukturen oder auch überlagerte Punkt- und Linienstrukturen sein. Auch wenn der strukturierte Bereich aus mehreren, nicht zwingend miteinander verbundenen, einzelnen strukturierten Teilbereichen, wie beispielsweise einzelnen Zapfen oder einzelnen rillenförmigen Vertiefungen, besteht, so wird im Sinne der Erfindung doch der gesamte Anteil der Oberfläche, der strukturiert ist, dessen Oberfläche sich folglich aufgrund einer Behandlung mittels eines Laserinterferenzverfahrens geändert hat, als ein strukturierter Bereich angesehen. Es kann also **jede Oberfläche lediglich einen strukturierten Bereich** aufweisen.

Jeglicher Teil der Oberfläche, der nicht dem strukturierten Bereich zuzuordnen ist, gilt dann als zum **unstrukturierten Bereich** gehörend.

Die Periode der Struktur, also die Strukturperiode, wird für periodische Punktstrukturen oder für periodische Linienstrukturen im Sinne der Erfindung als **Interferenzperiode (p_n)** bezeichnet. Sie ist im Allgemeinen abhängig von der Strukturierung einer Maske, dem Negativ der gewünschten periodischen Punkt- oder Linienstruktur auf einem Formwerkzeug oder der Wellenlänge der interferierenden Laserstrahlen, dem Einfallswinkel der interferierenden Laserstrahlen und der Anzahl der interferierenden Laserstrahlen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

ALLGEMEINE VORTEILE

Mit Hilfe einer hierin beschriebenen Strukturierung von Oberflächen und/oder Grenzflächen von Substraten, insbesondere einer Deckschicht und/oder einer Grundschicht von Substraten, können vorteilhaft die optischen Eigenschaften der Oberfläche oder Grenzfläche gezielt beeinflusst werden.

Insbesondere kann effektiv und vorteilhafterweise besonders schnell im Vergleich zu herkömmlichen Methoden ein Schwarzmarkierungsbereich auf einer Oberfläche oder Grenzfläche aufgebracht werden. Die resultierende Schwarzmarkierung ist weiterhin vorteilhaft besonders matt ausgebildet. Gerade eine Kombination mit zusätzlichen optischen

Effekten, die die optischen Eigenschaften der Oberfläche geeignet beeinflussen, führt zu reduzierten Reflexionen und Blendeigenschaften, wodurch Synergieeffekte auftreten.

LU103058

Des Weiteren kann die Struktur direkt (d.h. ohne das Erfordernis, die Struktur zwingend über eine weitere Schicht indirekt aufzubringen) auf eine Oberfläche Substrats appliziert/erzeugt werden. Da die Strukturierung nicht vom Brechungsindex oder der Haftung bestimmter Beschichtungsmaterialien auf dem Substrat abhängig ist, ist diese Struktur also flexibler einsetzbar als herkömmliche chemische Strukturierungen oder Nanostrukturierungen, bei denen Metallgitter auf die Anordnungen aufgebracht werden müssen.

Auch ist die Stabilität und Robustheit der erzeugten Strukturen vorteilhaft, da diese im Vergleich zu anderen Verfahren, insbesondere gegenüber Beschichtungen, verbessert ist. Somit wird die Beständigkeit des laseroberflächenstrukturierten Bauteils mit gezielt eingestellten Oberflächeneigenschaften optimiert. Der Hintergrund ist hier, dass die Strukturen direkt auf die Oberfläche einer Deckschicht eines Bauteils aufgebracht und/oder in das Bauteil eingebracht sind und sich nicht über die Zeit und der einsatzbedingten Materialbeanspruchung, insbesondere mechanischen Materialbeanspruchung von der Oberfläche (ab)lösen können. Darüber hinaus sind die Strukturen chemikalienbeständig gegenüber Lösungsmitteln und Glasreinigern.

Entgegen herkömmlicher Methoden (wie beim Ätzen, Sandstrahlen, Polymerbeschichtungen) zum Auf-/Einbringen einer Struktur auf einem Substrat besteht ein weiterer Vorteil des hierin definierten oberflächenstrukturierten Substrats bzw. des Applikationsverfahrens darin, dass ohne großen Aufwand lediglich gewisse Ausschnitte/Bereiche einer Ebene einer Deckschicht zielgerichtet und/oder partiell strukturiert werden können. So kann bspw. auch auf das aufwendige Anfertigen und Anordnen einer Maske zum Anbringen auf einer zu strukturierenden Oberfläche, die bspw. gewisse Bereiche der Oberfläche vor der Behandlung abschirmt/schützt, verzichtet werden. Zudem lassen sich die Strukturparameter (bspw. die Interferenzperiode, die Strukturtiefe, die Durchmesser, die Form und die Größe der Vertiefungen, insbesondere der inversen Zapfen oder der rillenförmigen Vertiefungen) und somit auch die damit verbundenen Eigenschaften zielgerichtet und maßgeschneidert anpassen.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit mehrere der vorteilhaften Eigenschaften gleichzeitig auf einer Oberfläche oder wenigstens an einem Bauteil zu erzielen. Dafür werden entweder verschiedene Strukturen, insbesondere periodische Punktstrukturen und/oder periodische

Linienstrukturen auf einer Oberfläche überlagert angeordnet und/oder es können auch verschiedenen Oberflächen oder Grenzflächen eines Bauteils strukturiert werden.

LU103058

5 **AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG**

Das erfindungsgemäße oberflächenstrukturierte Substrat beschreibt ein Substrat, aufweisend wenigstens einen Schwarzmarkierungsbereich mit wenigstens einer ersten periodischen Struktur, insbesondere einer Punktstruktur, im Mikro- und/oder Submikrometerbereich, insbesondere mit mehreren versetzt zueinander angeordneten periodischen Strukturen, welche einen Überlapp von wenigstens 95% aufweisen, wodurch ein beständiger und blickstabiler Schwarzmarkierungsbereich entsteht.

Strukturiertes Substrat

Substrat

15 Im Sinne der Erfindung bezieht sich der Begriff Substrat auf ein Substrat dessen Oberfläche eine Ausdehnung in mehrere Raumrichtungen hat. Es kann sich bei einem Substrat, bevorzugt einem flächigen Substrat, um ein planares Substrat oder ein gekrümmtes Substrat, beispielsweise ein parabolisches Substrat handeln. Unter flächig ist im Sinne der Erfindung ferner zu verstehen, dass die Ausdehnung eines Substrats, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, beispielsweise eines planaren Substrates in x und y 20 Richtung, beziehungsweise die Ausdehnung eines gekrümmten Substrates entlang seines Krümmungsradius größer ist als die Ausdehnung des Bereichs, in dem die zumindest drei Teilstrahlen miteinander interferieren. Bei einem gekrümmten Substrat mit einer gekrümmten ersten äußeren Oberfläche ist dann auch die projizierte Oberfläche gekrümmt.

25 In einer bevorzugten Ausgestaltung handelt es sich bei dem Substrat um ein Substrat, dessen Ausdehnung in x und y Richtung, beziehungsweise dessen Ausdehnung entlang eines Krümmungsradius kleiner oder gleich der Ausdehnung des Bereichs ist, in dem die zumindest drei Teilstrahlen miteinander interferieren. Eine homogene Strukturierung des Substrats ist in einem Bearbeitungsschritt (während eines Laserpulses) möglich. 30

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung handelt es sich bei dem Substrat um ein flächiges Substrat, dessen Ausdehnung in x und y Richtung, beziehungsweise dessen Ausdehnung entlang eines Krümmungsradius größer der Ausdehnung des Bereichs ist, in dem die zumindest drei Teilstrahlen miteinander interferieren. Durch Bewegen des Substrats 35

in der x und y Ebene ist eine flächige, homogene Strukturierung des Substrats in mehreren Bearbeitungsschritten (mit mehreren Laserpulsen) möglich. Die Bewegung des Substrats kann hierbei durch Rotation oder Translation oder durch eine Überlagerung aus Rotation und Translation erfolgen.

5

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Schwarzmarkierungsbereich mit einem Glanzfaktor von weniger als 10, bevorzugt weniger 5, besonders bevorzugt weniger als 2,5, ganz besonders bevorzugt weniger als 1, insbesondere weniger als 0,5, insbesondere weniger als 0,2, noch weiter bevorzugt weniger als 0,1, ausgebildet. Dabei wird der

10 Glanzfaktor vorzugsweise mit einem Glanzmessgerät unter einem Einfallswinkel von 60° gemessen.

15

Dabei führt ein geringerer Glanzfaktor aufgrund der damit einhergehenden geringen Reflexion zu einem matteren Gesamteindruck der Schwarzmarkierung, wodurch vorteilhaft der Kontrast zwischen dem Schwarzmarkierungsbereich und der angrenzenden nicht strukturierten Oberfläche des Substrats erhöht werden kann.

20

Im Sinne der Erfindung umfasst die Bezeichnung Substrat ein festes Material mit vorzugsweise reflektierender Oberfläche, wobei das Substrat insbesondere bei Raumtemperatur fest ist, sodass eingebrachte Oberflächenunebenheiten auf der Oberfläche bestehen bleiben. Beispiele für derartige Substrate sind insbesondere Metalle und Halbleiter oder Verbindungen daraus, insbesondere Kupfer und Silizium. Auch andere Materialien, insbesondere solche mit einer guten spezifischen Wärmeleitfähigkeit von wenigstens 20 W/(m·K), besonders bevorzugt von wenigstens 50 W/(m·K), ganz besonders bevorzugt von wenigstens 75 W/(m·K), insbesondere von wenigstens 100 W/(m·K), noch mehr bevorzugt von wenigstens 150 W/(m·K), gemessen bei 20 °C sind für derartige

25 Anwendungen geeignet. Beispiele für geeignete Metalle umfassen Kupfer (Cu, 240-401 W/(m·K)), Silber (Ag, 429 W/(m·K)), Gold (Au, 314 W/(m·K)), Zinn (Sn, 67 W/(m·K)), Zink (Zn, 110 W/(m·K)), Aluminium (Al, 236 W/(m·K)), Chrom (Cr, 86 W/(m·K)), Wolfram (W,

30

197 W/(m·K)), Nickel (Ni, 85 W/(m·K)) oder Mischungen bzw. Legierungen, wie bspw.

35

Messing (120 W/(m·K)), Kupferlegierungen mit Zinn, Zink, Nickel und/oder Blei oder Aluminiumlegierungen mit Mangan, Magnesium, Kupfer, Silizium und/oder Zink, daraus. Geeignete Halbmetalle bzw. Halbleitermaterialien sind Silizium (Si, 163 W/(m·K)), Indium (In, 81,6 W/(m·K)) und Halbleiter, wie die binären III-V Halbleiter GaAs, InAs und AlAs und/oder die ternären Halbleiter InGaAs bzw. InAlAs und Mischungen damit. Darüber hinaus weiß der Fachmann, wie er die spezifischen Wärmeleitfähigkeit für ein geeignetes Material ermittelt oder er kann diese ihm bekannten Tabellen und Nachschlagewerken entnehmen. Die

Wärmeleitfähigkeit ist eine Stoffeigenschaft eines Materials und beschreibt, wie schnell der Stoff Wärme weiterleiten kann. Je höher die Wärmeleitfähigkeit, desto schneller kühlt sich der Stoff auch wieder ab. Die Wärmeleitfähigkeit hat im SI-System die Einheit $W/(m \cdot K)$ (Watt pro Meter und Kelvin).

5

Darüber hinaus weiß der Fachmann, wie er die spezifischen Wärmeleitfähigkeit für ein geeignetes Material ermittelt oder er kann diese ihm bekannten Tabellen und Nachschlagewerken entnehmen. Die Wärmeleitfähigkeit ist eine Stoffeigenschaft eines Materials und beschreibt, wie schnell der Stoff Wärme weiterleiten kann. Je höher die

10 Wärmeleitfähigkeit, desto schneller kühlt sich der Stoff auch wieder ab. Die Wärmeleitfähigkeit hat im SI-System die Einheit $W/(m \cdot K)$ (Watt pro Meter und Kelvin).

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung weist das Substrat Materialien wie Metalle oder Halbleiter oder Legierungen auf oder besteht aus ihnen. Geeignete Metalle sind

15 beispielsweise Kupfer oder Aluminium. Ein geeignetes Halbleitermaterial ist beispielsweise Silizium. Diese Materialien sind aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit zwar oft schwer zu bearbeiten, weisen jedoch gute Wärmeableitungsfähigkeiten auf. Weitere mögliche Materialien umfassen auch Komposite.

20 Weitere geeignete Materialien sind Magnesium, Titanium sowie darauf aufbauende Beschichtungen bzw. Legierungen, aber auch Siliziumcarbid-basierte Materialien, Keramiken, vorzugsweise auch Polymer und Glas. Dabei wird auf Materialien wie Glas und auch auf Polymere vorzugsweise eine Hilfsschicht aufgebracht (wie hierin beschrieben), deren Material daraufhin die Strukturierung bildet.

25

Das Material des oberflächenstrukturierten Substrats kann auch einen Schmelzpunkt von weniger als $1.400\text{ }^{\circ}\text{C}$, bevorzugt von weniger als $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$, besonders bevorzugt von weniger als $1.100\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufweisen. Der Fachmann weiß, wie er den Schmelzpunkt oder den Schmelzbereich für ein geeignetes Material ermittelt oder er kann diese Werte ihm

30 bekannten Tabellen und Nachschlagewerken entnehmen. Es kann durch die Verwendung von besonders kurzen Laserpulsen, von vorzugsweise weniger als 500 ps (sog. Ultrakurzpulslaser), insbesondere innerhalb von Bereichen, wie hierin definiert, vorteilhaft auch eine Strukturierung von solchen Materialien mit geringem Schmelzpunkt realisiert werden. Bei anderen Materialien mit höheren Schmelzpunkten, wie beispielsweise Edelstahl

35 sind auch Pulsdauern im Bereich von Nanosekunden (ns) ausreichend, welche deutlich einfacher zu realisieren sind.

Bei längeren Pulsen ab 1 ns wird mehr Wärme, also Energie, in das Material eingebracht und es wird eine größere Menge an Material aufgeschmolzen, wodurch sich lokale Wellenfronten (an den Maxima) bilden, die sich übereinanderstülpen können und somit zu großen Strukturhöhen führen.

5

Bei kürzeren Pulsen bis zu 1 ns, insbesondere bis zu 500 ps, trägt man das Material eher ab. Relevante Effekte sind hier die kalte Ablation bzw. die Materialzerstäubung, sodass eher Vertiefungen entstehen und wenig bis nichts aufschmilzt.

- 10 Das Substrat kann dabei auch biegsam ausgebildet sein, wie beispielsweise eine Metallfolie. Relevant ist hier insbesondere, dass die Oberflächenunebenheiten nach einem Abkühlungsprozess erhalten bleiben.

Vorzugsweise weist das oberflächenstrukturierte Substrat, insbesondere das

- 15 laseroberflächenstrukturierte Substrat, auf der der ersten äußeren Oberfläche abgewandten Seite, eine zweite äußere Oberfläche auf. Dabei ist die zweite äußere Oberfläche aus einem strukturierten und einem unstrukturierten Bereich gebildet, wobei der strukturierte Bereich eine periodische Punkt- und/oder Linienstruktur aufweist. So können die vorteilhaften Effekte und Eigenschaften, insbesondere die verbesserte Wärmeübertragung auch an der weiteren
20 zweiten äußeren Oberfläche wirken. Gerade bei einer Verwendung innerhalb eines Bauelementes und/oder innerhalb einer elektronischen Schaltung kann dadurch der Wärmeableitungskoeffizient vergrößert und so die Wärmeableitung verbessert werden.

Bevorzugt weist der strukturierte Bereich ein Verhältnis der realen Oberfläche zur projizierten
25 Oberfläche von wenigstens 120%, vorzugsweise 150%, besonders bevorzugt 200%, insbesondere 250% auf. Die projizierte Oberfläche ist dabei die Projektionsfläche auf die erste äußere Oberfläche ohne Oberflächenunebenheiten.

Es kann vorgesehen sein, dass die Oberfläche des strukturierten Substrats zusätzlich zu
30 dem Schwarzmarkierungsbereich einen oder mehrere anderweitig laserstrukturierte Bereiche aufweist, beispielsweise Bereiche mit verbesserten Anti-glare-Eigenschaften. Die unterschiedlichen Bereiche können sich dabei überschneiden.

Transparentes Substrat

- 35 Nach einer möglichen Ausgestaltung besteht das Substrat aus einem transparenten Material. Ein Material bzw. Substrat ist im Sinne der vorliegenden Erfindung **transparent**, wenn es

- eine hohe Durchlässigkeit für zumindest einen Teilbereich des Spektrums elektromagnetischer Strahlung zwischen 1 nm und 10 m aufweist, vorzugsweise für Licht, dass für das menschliche Auge sichtbar ist oder Licht im Bereich von Infrarot- oder Ultraviolettstrahlung. Derartige Teilbereiche sind beispielsweise elektromagnetische
- 5 Strahlung im Bereich des ultravioletten (UV) Lichtes von 100 nm bis 380 nm, insbesondere UV-A von 315 nm bis 380 nm oder UV-B von 280 nm bis 315 nm oder UV-C von 100 nm bis 280 nm, des sichtbaren Lichts von 380 nm bis 780 nm oder in einem Bereich, der auch infrarotes Licht umfasst, von 780 nm bis 5.000 nm oder in einem Bereich des infraroten Lichtes (Wärmestrahlung) oder in einem Bereich der Mikrowellenstrahlung, insbesondere
- 10 Radarstrahlen im Wellenlängenbereich von 1 mm bis 10 m, oder auch ein anderer Teilbereich, der entsprechend der gewünschten Anwendung, insbesondere an die Wellenlänge der Laserquelle, angepasst ist. Ein solcher Teilbereich hat bevorzugt wenigstens eine Breite von 10 % oder von 50 % der Wellenlänge, welche die untere Grenze des Teilbereiches bildet. Eine hohe Durchlässigkeit in einem Teilbereich ist im Sinne der
- 15 Erfindung ein Transmissionsgrad von wenigstens 50 % oder vorzugsweise wenigstens 70 % oder besonders bevorzugt wenigstens 80 % oder wenigstens 90 % für jede Wellenlänge in dem Teilbereich, also für das gesamte Spektrum in dem Teilbereich. Im Gegensatz dazu wird ein Substrat als **teiltransparent** bezeichnet, wenn es wenigstens eine gewissen Transmissionsgrad aufweist, vorzugsweise wenigstens 20 % für jede Wellenlänge in dem
- 20 Teilbereich, also für das gesamte Spektrum in einem hierin beschriebenen Teilbereich, aufweist. Der Fachmann weiß, wie er die Transparenz und/oder die Lichtdurchlässigkeit für ein geeignetes Material ermittelt oder er kann diese Werte ihm bekannten Tabellen und Nachschlagewerken entnehmen.
- 25 Vorzugsweise ist das Substrat transparent, weist also in einem Teilbereich des elektromagnetischen Spektrums, vorzugsweise im Bereich des sichtbaren Lichtes oder des nahinfraroten Lichtes oder des UV-Bereiches, insbesondere UV-A und/oder UV-B und/oder UV-C, einen Transmissionsgrad von wenigstens 50 %, vorzugsweise wenigstens 70 %, besonders bevorzugt wenigstens 80 %, wenigstens 90 % für jede Wellenlänge in dem
- 30 Teilbereich auf.

- Als ein transparentes Substrat kann aber auch ein Substrat bezeichnet werden, welches selektiv für bestimmte Wellenlängenbereiche im Bereich des sichtbaren Lichts eine hohe Durchlässigkeit aufweist, bspw. hat das Substrat eine hohe Durchlässigkeit für
- 35 elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich von 500 nm bis 800 nm. Dabei kann der Transmissionsgrad über den Wellenlängenbereich, welcher transmittiert wird, variieren, bspw. für Wellenlängen im Bereich von 380 nm bis 500 nm nicht weniger als 70 %

betragen, und im Bereich von 500 nm bis 750 nm nicht weniger als 90 % betragen.
Beispielsweise transmittiert das Substrat Strahlung mit Wellenlängen von 380 nm bis
780 nm. Besonders hohe Transmission, bspw. einen Transmissionsgrad von 90% weist es
bei Wellenlängen von 450 nm bis 690 nm auf; der Transmissionsgrad bei den Wellenlängen
5 darunter und darüber beträgt bspw. 70 %.

Ein transparentes Material umfasst im Sinne der vorliegenden Erfindung transparente
Materialien, insbesondere transparente Keramiken (bspw. Spinell-Keramiken, wie Mg-Al-
Spinell, ALON, Aluminiumoxid, Yttriumaluminiumgranat, Yttriumoxid oder Zirkonoxid) oder
10 Mischungen daraus. Polycarbonate sind Homopolycarbonate, Copolycarbonate und
thermoplastische Polyestercarbonate.

Um einen Schwarzmarkierungsbereich auf einer ersten äußeren Oberfläche eines
transparenten Materials zu erzeugen, besteht der strukturierte Bereich vorzugsweise aus
15 einem anderen Material, welches als Deckschicht auf dem transparenten Material aufliegt.
Es handelt sich bei den Oberflächenunebenheiten an der Oberfläche des transparenten
Materials vorzugsweise um Zapfen oder rillenförmige Erhöhungen, die aus einem anderen
Material ausgebildet sind.

20 Oberflächenunebenheiten

Die Oberflächenunebenheiten können im Sinne der Erfindung als punktförmige
Oberflächenunebenheiten oder als linienförmige Oberflächenunebenheiten ausgebildet sein.
Dabei können die punktförmigen Oberflächenunebenheiten als Zapfen oder als inverse
25 Zapfen ausgebildet sein. Die linienförmigen Oberflächenunebenheiten können dabei als
rillenförmige Vertiefungen oder als rillenförmige Erhöhungen ausgebildet sein. Insbesondere
können unterschiedliche Interferenzpixel mit unterschiedlichen Oberflächenunebenheiten
auch überlagert angeordnet sein, sodass unterschiedliche Abmessungen und/oder
unterschiedliche Arten von Oberflächenunebenheiten auf einem oberflächenstrukturierten
30 Substrat, insbesondere innerhalb eines Schwarzmarkierungsbereichs, angeordnet sein
können. Die Abmessungen der Oberflächenunebenheiten können bei einem Erzeugen
mittels Laserinterferenzstrukturierung durch unterschiedliche Verfahrensparameter
eingestellt werden. Eine Überlagerung von unterschiedlichen Arten von
Oberflächenunebenheiten meint im Sinne der Erfindung eine Überlagerung sowohl von
35 Punkt- als auch von Linienstrukturen.

Die Seitenflächen der Oberflächenunebenheiten der ersten periodischen Struktur, vorzugsweise sämtlicher Oberflächenunebenheiten, weisen nach einer vorteilhaften Ausgestaltung eine glatte Oberfläche auf. Dadurch unterscheiden sich diese Strukturen deutlich von durch Ätzen erzeugten Oberflächenunebenheiten. Selbst bei einem Verwenden von Masken können die Seitenflächen oder Mantelflächen der Oberflächenunebenheiten nicht so glatt wie bei der Laserinterferenzstrukturierung erzeugt werden. Dadurch sind vorteilhaft definierte Strukturen und optimierte Eigenschaften einstellbar.

Eine glatte Seitenfläche (Mantelfläche) der Oberflächenunebenheiten, also der Zapfen oder inversen Zapfen oder rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen, wird dabei vorzugsweise dadurch erreicht, dass die einzelnen Oberflächenunebenheiten bei der Strukturierung mittels Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere mittels direkter Laserinterferenzstrukturierung nicht mehr als viermal, insbesondere nicht mehr als dreimal, besonders bevorzugt nicht mehr als zweimal, ganz besonders bevorzugt nur einmal bestrahlt werden. Dabei erfolgt die Erzeugung jedes Interferenzpixels vorzugsweise durch Einfachbestrahlung.

Im Sinne der Erfindung gilt eine Seitenfläche einer Struktur, bspw. eines Zapfens oder inversen Zapfens oder rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen, als glatt, wenn der **Mittenrauwert** (R_a) gemäß DIN EN ISO 4287:2010 kleiner ist als 200 nm, vorzugsweise kleiner als 50 nm, besonders bevorzugt kleiner als 20 nm, ganz besonders bevorzugt kleiner als 5 nm.

Eine **glatte Seitenfläche**, auch als Mantelfläche bezeichnet, der Oberflächenunebenheit, also der Zapfen und/oder inversen Zapfen oder rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen, hat gegenüber einer rauen Oberfläche den Vorteil, dass insbesondere bei Einstrahlung elektromagnetischer Strahlung diese nicht diffus an der Oberfläche zurückgestreut wird bzw. werden kann. Die Seitenfläche der Vertiefungen dient somit bspw. Bei der Einstellung von gewünschten optischen Eigenschaften.

So kann beispielsweise ein innerhalb der Zapfen oder inversen Zapfen oder rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen auftretender Falleneffekt verbessert und so die Durchlässigkeit des Lichtes durch diese Grenzfläche erhöht werden, da die Seitenfläche als quasi-homogene Spiegelfläche dient, die den Anteil reflektierter einfallender elektromagnetischer Strahlung innerhalb der Oberflächenunebenheiten, insbesondere der inversen Zapfen, bis zum Sattelpunkt reflektiert, wobei an jedem weiteren Reflexionspunkt innerhalb der Mantelfläche ein Anteil (verbleibender) elektromagnetischer Strahlung in das

Substrat, dessen erste äußere Oberfläche aus einem derartigen strukturierten und einem unstrukturierten Bereich gebildet ist, einkoppelt.

LU103058

Punktförmige Struktur/Interferenzmuster

- 5 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des oberflächenstrukturierten Substrats weist das erste Interferenzpixel ein periodisches Gitter von zumindest drei Zapfen oder inversen Zapfen auf. Dadurch wird eine erste periodische Punktstruktur gebildet. Die Oberflächenunebenheiten sind hier also Zapfen und/oder inverse Zapfen. Die hier vorliegenden zweidimensionalen Änderungen der Oberflächeneigenschaften führen zu einer effizienten Vergrößerung der Oberfläche sowie einer daraus resultierenden verbesserten Wärmeübertragung. So kann eine größere Menge an Wärme durch den Schwarzmarkierungsbereich geleitet werden.

- Der Begriff **inverser Zapfen** bezieht sich im Sinne dieser Erfindung auf Strukturen mit einer kreisförmigen, elliptischen, dreieckigen oder im Wesentlichen rechteckigen Grundfläche, insbesondere mit einer kreisförmigen Grundfläche, die in vertikaler Richtung kegelförmig in das Substrat zulaufen und in deren Sattelpunkt über eine abgerundete Kegelspitze verfügen. Die inversen Zapfen werden während des Strukturierungsprozesses, d.h. beim Auftreffen eines Laserpulses als Folge des Auftreffens eines Bereiches hoher Intensität in das zu strukturierende Substrat ausgebildet, wobei die Bereiche zwischen den inversen Zapfen auf bzw. innerhalb des Substrates idealerweise durch destruktive Interferenz deren Intensität Null ist im Wesentlichen unstrukturiert verbleiben. Folglich wird durch die Fokussierung der Laser(-teil)strahlen auf bzw. innerhalb des Substrats das Negativ von dem, was die Intensitätsverteilung vorgibt, ausgebildet. Die beschriebene Form der inversen Zapfen bezieht sich auf Punktstrukturen, welche an der Oberfläche des Substrates angeordnet sind. Eine Anordnung der Punktstrukturen in einer oder entlang einer Ebene innerhalb des Volumens führt zu einer Form welche symmetrischer ausgebildet ist. Im Sinne der Erfindung sind auch die mittels Laserinterferenzstrukturierung innerhalb eines Volumens generierten Punktstrukturen als inverse Zapfen bezeichnet.

- 30 In einer bevorzugten Ausgestaltung werden die inversen Zapfen vorzugsweise während des Strukturierungsprozesses mittels Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten Laserinterferenzstrukturierung erzeugt, d.h. beim Auftreffen eines Laserpulses als Folge des Auftreffens eines Bereiches hoher Intensität in das zu strukturierende Substrat ausgebildet, wobei die Bereiche zwischen den inversen Zapfen auf bzw. innerhalb des Substrates idealerweise durch destruktive Interferenz deren Intensität Null, insbesondere

unterhalb einer materialabhängigen Intensitätsschwelle, ist, im Wesentlichen unstrukturiert verbleiben. Folglich wird durch die Fokussierung der Laser(teil)strahlen auf bzw. innerhalb des Substrats das Negativ von dem, was die Intensitätsverteilung vorgibt, ausgebildet. Die beschriebene Form der inversen Zapfen bezieht sich auf Punktstrukturen, welche an der

5 Oberfläche des Substrates angeordnet sind. Eine Anordnung der Punktstrukturen in einer oder entlang einer Ebene innerhalb des **Volumens** führt zu einer Form welche symmetrischer, also eher nach der Form eines Ellipsoids, ausgebildet ist. Im Sinne der Erfindung sind auch die mittels Laserinterferenzstrukturierung innerhalb eines Volumens generierten Punktstrukturen als inverse Zapfen bezeichnet.

10

Inverse Zapfen mit einer elliptischen Grundfläche können in einem Strukturierungsprozess mittels Laserstrukturapplikationsverfahren beispielsweise durch Neigung des Substrates im Verhältnis zum Einfallswinkel des bzw. der fokussierten Laser(teil)strahlen erzeugt werden.

15

Als „**Zapfen**“ werden im Sinne dieser Erfindung Strukturen mit einer kreisförmigen, elliptischen, dreieckigen oder im Wesentlichen rechteckigen Grundfläche, insbesondere mit einer kreisförmigen Grundfläche, bezeichnet, die in vertikaler Richtung kegelförmig aus dem Substrat herausragen und in deren Sattelpunkt über eine abgerundete Kegelspitze oder einen Kegelstumpf, insbesondere eine abgerundete Kegelspitze, verfügen. Zapfen können

20 durch ein Aufbringen einer Negativform, die inverse Zapfen aufweist, in eine Oberfläche ein- bzw. auf eine Oberfläche aufgebracht werden. Hierfür eignen sich bspw. Die Imprint-Lithographie, bspw. Der Nanoprägelithografie (wie hierin definiert).

20

25

Die hierin definierten periodischen Punktstrukturen, die vorzugsweise aus Zapfen und/oder inversen Zapfen (entsprechend der Ausrichtung zu einer äußeren Oberfläche eines Substrates oder einer Deckschicht bzw. in Richtung der Stapel- oder Beschichtungsrichtung) gebildet sind, haben gegenüber (periodischen) Linien- oder Wellenstrukturen den Vorteil, dass die einzelnen Vertiefungen bzw. Erhebungen eine Mantelfläche aufspannen, die sich vorzugsweise radial über den Zapfenquerschnitt (Durchmesser der Grundfläche des Zapfens

30 oder inversen Zapfens) bis zum Sattelpunkt erstreckt. Dies ermöglicht es, dass die hierin definierten optischen Effekte unabhängig von der Ausrichtung der jeweiligen Oberfläche oder der Grenzfläche im Raum eingestellt werden können.

30

35

Der Begriff „**Interferenzpixel**“, bspw. erstes, zweites, drittes und/oder weiteres Interferenzpixel bezeichnet im Sinne der vorliegenden Erfindung ein periodisches Muster bzw. Gitter von zumindest drei Zapfen oder inversen Zapfen, vorzugsweise von zumindest sieben Zapfen oder inversen Zapfen, ganz besonders bevorzugt zumindest 19 Zapfen oder

inversen Zapfen auf der Oberfläche eines Substrates, die sich innerhalb eines Interferenzpixels ausbilden (vgl. Fig. 15). Dabei zeichnet sich ein Interferenzpixel, welches aus Zapfen oder inversen Zapfen gebildet ist, vorzugsweise dadurch aus, dass die Zapfen oder inversen Zapfen derart repetitiv zueinander ausgerichtet sind, dass bei dem Vorliegen von drei Zapfen bzw. inversen Zapfen diese so zueinander ausgerichtet sind, dass deren Scheitelpunkte (bei Zapfen deren Höhenmittelpunkte oder bei inversen Zapfen deren Zentren der Vertiefungen) zueinander den gleichen Abstand aufweisen (sog. Interferenzperiode). Bei dem Vorliegen von sieben Zapfen bzw. inversen Zapfen sind diese so zueinander ausgerichtet, dass ein Zapfen bzw. inverser Zapfen zentral im Gitter angeordnet ist, wohingegen die sechs verbleibenden Zapfen bzw. inverser Zapfen um das Zentrum derart angeordnet sind, dass jeder der Scheitelpunkte (bei Zapfen deren Höhenmittelpunkte oder bei inversen Zapfen deren Zentren der Vertiefungen) der sechs verbleibenden Zapfen bzw. inverser Zapfen zu dem Zapfen bzw. inverser Zapfen im Zentrum und zumindest zu weiteren zwei seiner benachbarten Zapfen bzw. inversen Zapfen den gleichen Abstand aufweist (sog. Interferenzperiode).

Vorzugsweise wird das periodische Muster bzw. Gitter des Interferenzpixels, insbesondere umfassend inverse Zapfen, durch mechanische Verfahren, Laserstrukturapplikationsverfahren und/oder mittels chemischer (Nach-)Behandlung, insbesondere durch direkte Laserinterferenzstrukturierung hergestellt. Im Falle der direkten Laserinterferenzstrukturierung wird das periodische Muster bzw. Gitter vorzugsweise durch das Überlagern von zumindest drei, besonders bevorzugt von zumindest vier Laser(teil-)strahlen infolge des Fokussierens (Bündelns) dieser Laser(teil-)strahlen auf die Oberfläche oder in das Innere des Substrats erzeugt, wodurch die Teilstrahlen auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats konstruktiv und destruktiv interferieren.

Der Einsatz von Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten Laserinterferenzstrukturierung zur direkten Herstellung oder indirekten Herstellung (bspw. Im Falle der Imprint-Lithographie, insbesondere der Nanoprägelithografie) zur Herstellung strukturierter und unstrukturierter Bereiche auf der Oberfläche eines Substrates hat den Vorteil, dass die Zapfen oder inversen Zapfen einer periodischen Punktstrukturen innerhalb einer Art eines Interferenzpixels identische oder nahezu identische Abmessungen aufweisen. Vorzugsweise beträgt der **Variationskoeffizient**, also der Wert, der sich aus dem Quotienten aus Standardabweichung und Durchschnittswert ergibt, des Zapfenquerschnitts (Durchmesser der Grundfläche des Zapfens oder inversen Zapfens) max. 15,0 % oder weniger, mehr bevorzugt max. 10,0 % oder weniger, noch mehr bevorzugt max. 5,0 % oder weniger, insbesondere max. 2,5 % oder weniger, noch bevorzugter max. 1,0 % oder weniger aufweisen. Es lassen sich somit Zapfen oder inverse Zapfen herstellen, die zueinander in der

Ausformung nahezu identisch sind. Dies erlaubt zudem eine bessere Nachweisbarkeit des erfindungsgemäß strukturierten Substrates gegenüber herkömmlichen Verfahren zur Strukturierung/Beschichtung von Substraten (bspw. Ätzen, Partikelstrahlen, Polymerbeschichtung).

5

Linienstruktur oder linienförmige Struktur

Die erste periodische Struktur ist nach einer möglichen Ausgestaltung als erste periodische Linienstruktur ausgebildet, die aus wenigstens drei, vorzugsweise wenigstens 5, bevorzugt wenigstens 7, parallel verlaufenden rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen

10 Erhöhungen ausgebildet ist. Die rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen sind derart angeordnet, dass der Abstand von einer rillenförmigen Vertiefung oder einer rillenförmigen Erhöhung zu einer innerhalb der periodischen Linienstruktur benachbart angeordneten rillenförmigen Vertiefung oder rillenförmigen Erhöhung immer identisch ist. Die einzelnen rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen innerhalb der ersten
15 periodischen Linienstruktur sind also äquidistant angeordnet. Dadurch wird eine erste periodische **Linienstruktur** gebildet. Die Oberflächenunebenheiten sind hier also rillenförmige Vertiefungen und/oder rillenförmige Erhöhungen. Derartige Strukturen benötigen nur zwei überlagerte Laserstrahlen. Daher sind sie schnell und wirtschaftlich erzeugbar, sodass die Wirtschaftlichkeit verbessert wird.

20

Die sich ergebende Periode der periodischen Linienstruktur, also die Strukturperiode, wird im Sinne der Erfindung als Interferenzperiode (p_n) bezeichnet. Dabei ist die Interferenzperiode der kürzeste Abstand von einem Punkt einer rillenförmigen Vertiefung oder einer rillenförmigen Erhöhung zu einem analogen Punkt der innerhalb der periodischen
25 Linienstruktur benachbart angeordneten rillenförmigen Vertiefung oder rillenförmigen Erhöhung. So entspricht die Interferenzperiode beispielsweise dem kürzesten Weg zwischen zwei Mittellinien oder tiefsten Linien einer rillenförmigen Vertiefung oder höchsten Linien der rillenförmigen Erhöhung. Die tiefsten Linien einer rillenförmigen Vertiefung sind dabei die Mittellinien, an denen das meiste Material abgetragen wurde. Tiefe gilt hier gegenüber der
30 entsprechenden Oberfläche, insbesondere gegenüber dem unstrukturierten Bereich der Oberfläche.

Das gilt analog für rillenförmige Erhöhungen, wobei die tiefste Linie dann die höchste Linie ist. Rillenförmige Erhöhungen sind dabei im Sinne der Erfindung Strukturen, die sich
35 formgleich zu einer Rille bzw. zu einer rillenförmigen Vertiefung aus der Oberfläche erheben. Eine Möglichkeit solche rillenförmigen Erhöhungen zu erzeugen ist das Aufbringen von

rillenförmigen Vertiefungen auf eine Negativform und das anschließende Übertragen dieser Struktur auf die Deckschicht.

LU103058

- 5 Analog zu den Punktstrukturen, also den Zapfen oder inversen Zapfen, können auch die rillenförmigen Vertiefungen und die rillenförmigen Erhöhungen innerhalb eines Interferenzpixels angeordnet sein. Dabei weist ein Interferenzpixel wenigstens drei, vorzugsweise wenigstens fünf, bevorzugt wenigstens sieben parallel verlaufende, äquidistant angeordnete rillenförmige Vertiefungen oder rillenförmige Erhöhungen auf.
- 10 Es können repetitiv nebeneinander angeordnete Interferenzpixel entweder eine periodische oder eine nicht-periodische Global-Struktur bilden. Die Freiheitsgrade sind dabei die gewählte Interferenzperiode, die Richtung der ersten Dimension, entlang derer die größte Ausdehnung der rillenförmigen Vertiefungen oder der rillenförmigen Erhöhungen ausgebildet ist, die Strukturtiefe sowie auch der Abstand bzw. Versatz der einzelnen Interferenzpixel.
- 15 Dabei bildet die Globalstruktur den strukturierten Bereich.

Das Erzeugen der rillenförmigen Vertiefungen erfolgt bevorzugt mittels eines mechanischen Verfahrens, eines Laserstrukturapplikationsverfahrens und/oder mittels chemischer (Nach-)Behandlung.

20

Die Struktur, insbesondere auch deren Interferenzperiode ist im Allgemeinen abhängig von der Strukturierung einer Maske, dem Negativ der gewünschten periodischen Punktstruktur auf einem Formwerkzeug oder der Wellenlänge der interferierenden Laserstrahlen, dem Einfallswinkel der interferierenden Laserstrahlen und der Anzahl der interferierenden

25 Laserstrahlen.

25

- In einer bevorzugten Ausgestaltung werden die rillenförmigen Vertiefungen vorzugsweise während des Strukturierungsprozesses mittels Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten Laserinterferenzstrukturierung erzeugt, d.h. beim Auftreffen eines
- 30 Laserpulses als Folge des Auftreffens eines Bereiches hoher Intensität in das zu strukturierende Substrat ausgebildet, wobei die Bereiche zwischen den rillenförmigen Vertiefungen auf bzw. innerhalb des Substrates idealerweise durch destruktive Interferenz deren Intensität unterhalb einer materialabhängigen Intensitätsschwelle ist, im Wesentlichen unstrukturiert verbleiben. Folglich wird durch die Fokussierung der Laser(strahlen) auf
- 35 bzw. innerhalb des Substrats das Negativ von dem, was die Intensitätsverteilung vorgibt, ausgebildet.

Im Falle des Erzeugens der Vertiefungen, insbesondere der rillenförmigen Vertiefungen, durch direkte Laserinterferenzstrukturierung wird die periodische Struktur vorzugsweise durch das Überlagern von zumindest zwei, bevorzugt von genau zwei, Laser(teil-)strahlen infolge des Fokussierens (Bündelns) dieser Laser(teil-)strahlen auf die Oberfläche oder in das Innere des Substrats erzeugt, wodurch die Teilstrahlen auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats konstruktiv und destruktiv interferieren.

Der Einsatz von Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten

Laserinterferenzstrukturierung zur direkten Herstellung oder indirekten Herstellung (bspw. Im Falle der Imprint-Lithographie, insbesondere der Nanoprägelithografie) zur Herstellung strukturierter und unstrukturierter Bereiche auf der Oberfläche eines Substrates hat den Vorteil, dass die Vertiefungen, insbesondere die rillenförmigen Vertiefungen oder die rillenförmigen Erhöhungen, einer periodischen Punktstrukturen innerhalb einer Art einer periodischen Struktur, insbesondere periodischen Linienstruktur, identische oder nahezu identische Abmessungen aufweisen. Vorzugsweise beträgt der **Variationskoeffizient**, also der Wert, der sich aus dem Quotienten aus Standardabweichung und Durchschnittswert ergibt, der Rillenbreite (Breite der rillenförmigen Vertiefung oder Breite der rillenförmigen Erhöhung, ermittelt an der Oberfläche, also bevorzugt an der Grenze zu dem unstrukturierten Bereich) max. 15,0 % oder weniger, mehr bevorzugt max. 10,0 % oder weniger, noch mehr bevorzugt max. 5,0 % oder weniger, insbesondere max. 2,5 % oder weniger, noch bevorzugter max. 1,0 % oder weniger aufweisen. Es lassen sich somit rillenförmige Vertiefungen oder rillenförmige Erhöhungen erzeugen, die zueinander in der Ausformung nahezu identisch sind. Dies erlaubt zudem eine bessere Nachweisbarkeit des erfindungsgemäß strukturierten Substrates gegenüber herkömmlichen Verfahren zur Strukturierung/Beschichtung von Substraten (bspw. Ätzen, Partikelstrahlen, Polymerbeschichtung).

Rastern

In einer bevorzugten Ausgestaltung kann durch das Bewegen des Substrats, insbesondere des oberflächenstrukturierten Substrats, in Relation zum Fokussierungspunkt, welcher das Interferenzpixel mit einer periodischen Punktstruktur oder einer periodischen Linienstruktur erzeugt, in Kombination mit gepulsten Laser(teil-)strahlen somit eine flächige, optional homogene und periodische, Punkt- und/oder Linienstruktur auf der Oberfläche eines Substrats, bevorzugt flächigen, erzeugt werden.

Alternativ zum Bewegen des Substrats in Relation zum Fokussierungspunkt kann auch der Fokussierungspunkt (bspw. Durch scannerbasierte Methoden) über die Probe bzw. das Substrat geführt werden.

- 5 Eine Verschiebung des zu strukturierenden Substrates, bevorzugt flächigen Substrats, im Laserstrahl kann aufgrund der relativ großen dabei bewegten Massen vergleichsweise aufwändig und langsam sein. Es ist daher vorteilhaft das Substrat, bevorzugt flächige Substrat während der Bearbeitung ortsfest vorzusehen und die flächige Strukturierung des Substrates dadurch zu realisieren, dass die Fokussierung der Teilstrahlen auf die Oberfläche
- 10 des Substrats durch Manipulation der Laserteilstrahlen mit optischen Elementen (Fokussierspiegel bzw. Galvo-Spiegel (Laserscanner)) in Strahlrichtung bewirkt wird. Da die dabei bewegten Massen relativ klein sind, ist dies mit weit geringerem Aufwand bzw. viel schneller möglich. Vorzugsweise ist das Substrat während des Verfahrens ortsfest angeordnet. Es ist auch möglich zwischen einem Bewegen des Substrates und einem
- 15 Führen des Fokussierungspunktes über das Substrat zu wechseln, wodurch große Substrate, beispielsweise größer als 200 mm x 200 mm, effizient und dennoch definiert und reproduzierbar strukturiert werden können.

Global-Struktur, insbesondere Global-Punktstruktur

- 20 Vorteilhaft können die einzelnen Pixel einer Art eines Interferenzpixels, bspw. eines ersten Interferenzpixels, eines zweiten Interferenzpixels und/oder eines weiteren Interferenzpixels, die benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnet sind, global (d.h. über die Ausdehnung der zu strukturierenden Ebene) wahlweise eine periodische oder eine nicht-
- 25 periodische Global-Punkt- und/oder Global-Linienstruktur ausbilden. Eine vollperiodische Global-Punkt- und/oder Global-Linienstruktur wird erzeugt bzw. liegt vor, wenn der vorhergehende Pixel und der nachfolgende Pixel einer Art eines Interferenzpixels jeweils um ein ganzes Vielfaches (bspw. 2, 3, 4, 5) der Interferenzperiode (p_n) in eine Raumrichtung zueinander verschoben sind. Es ergibt sich dadurch über die Ausdehnung der zu
- 30 strukturierenden Ebene ein vollperiodisches Muster, dessen Periode der Interferenzperiode (p_n) entspricht.

- Eine quasi-periodische Global-Punkt- und/oder Global-Linienstruktur wird erzeugt bzw. liegt vor, wenn der vorhergehende Pixel und der nachfolgende Pixel einer Art eines
- 35 Interferenzpixels jeweils um ein gleiches, von einem ganzen Vielfachen abweichendem, Vielfachen (bspw. 0,5; 1,3; 2,6) der Interferenzperiode (p_n) in eine Raumrichtung zueinander verschoben sind. Dem gegenüber wird eine nicht-periodische Global-Punkt- und/oder

Global-Linienstruktur erzeugt bzw. liegt vor, wenn die Interferenzperiode des nachfolgenden Pixels zum benachbarten, vorhergehenden Pixel variiert wird und/oder benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnete Pixel verdreht, bspw. sukzessive verdreht appliziert werden.

5

Im Sinne der Erfindung beschreibt eine Global-Struktur eine den strukturierten Bereich bildende Struktur aus beliebigen Oberflächenunebenheiten, vorzugsweise aus inversen Zapfen und/oder rillenförmigen Vertiefungen oder gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung aus Zapfen und/oder rillenförmigen Erhöhungen. Eine solche Global-Struktur kann voll-periodisch, wobei dies vorzugsweise nur eine Art der Oberflächenunebenheit erlaubt, oder quasi-periodisch oder nicht-periodisch ausgebildet sein. Die Art der Periodizität hat einen großen Einfluss auf die zu erreichenden Eigenschaften der Oberfläche, insbesondere auf die optischen Eigenschaften.

10

15

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung können tiefere Strukturiefen dadurch erzeugt werden, dass eine mehrfache Bestrahlung von bereits bestehenden Oberflächenunebenheiten, beispielsweise rillenförmigen Vertiefungen, erfolgt. Bei Linienstrukturen werden die Strukturiefen tiefer, also größer, je stärker der Pixel-zu-Pixel Überlapp, insbesondere der Puls-zu-Puls-Überlapp, also der Überlapp der Interferenzpixel, in Linienrichtung ist. Vorzugsweise erfolgt ein Überlapp quer zur Linienrichtung, was ebenfalls zu tieferen Strukturen führt.

20

Da die Strukturiefe einen starken Einfluss auf das Verhältnis der Fläche der Oberfläche zur projizierten Oberfläche hat, kann durch eine hohe Strukturiefe zu einem erhöhten Wärmeübergangskoeffizienten führen. Dadurch werden also die Wärmeübergangseigenschaften verbessert.

25

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des oberflächenstrukturierten Substrats weist der Schwarzmarkierungsbereich, insbesondere der strukturierte Bereich, weiterhin eine zweite periodische Struktur mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) im Mikro- oder Submikrobereich auf, welche als periodische Punktstruktur oder als periodische Linienstruktur ausgebildet ist.

30

Vorzugsweise weist der strukturierte Bereich der Oberfläche des Substrates weiterhin eine **zweite periodische Punktstruktur**, auf, wobei die zweite periodische Struktur aus zumindest einem zweiten Interferenzpixel (11) mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) gebildet ist. Dabei weist das zweite Interferenzpixel (11) zur Bildung einer zweiten

35

periodischen Punktstruktur ein periodisches Gitter von zumindest drei Zapfen oder inversen Zapfen mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) auf. Der strukturierte Bereich, also die Global-Struktur, wird somit aus einer Überlagerung aus einer ersten periodischen Punkt- oder Linienstruktur und zumindest einer zweiten periodischen Punktstruktur gebildet.

5

Optional weist der strukturierte Bereich eine **zweite periodische Linienstruktur** mit einer zweiten Interferenzperiode im Mikro oder Submikrometerbereich auf. Vorzugsweise ist die zweite periodische Linienstruktur aus wenigstens einem zweiten Interferenzpixel mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) gebildet. Zur Bildung einer zweiten periodischen

10

Linienstruktur weist das zweite Interferenzpixel wenigstens drei parallel verlaufende rillenförmige Vertiefungen oder rillenförmige Erhöhungen auf.

Es liegt dann eine Global-Struktur vor, die eine Überlagerung aus einer ersten periodischen Punkt- oder Linienstruktur und einer zweiten periodischen Linienstruktur ist.

15

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung weist der strukturierte Bereich zwei überlagerte Linienstrukturen auf, welche sich im Verlauf in der Richtung unterscheiden. Es liegt also ein erstes Interferenzpixel aus rillenförmigen Vertiefungen und/oder Erhöhungen sowie ein zweites Interferenzpixel aus rillenförmigen Vertiefungen und/oder Erhöhungen überlagert vor. Die erste Interferenzperiode und die zweite Interferenzperiode können dabei identisch

20

oder aber auch unterschiedlich sein. Vorzugsweise sind mehrere erste und mehrere zweite Interferenzpixel mit linienförmigen Oberflächenunebenheiten derart überlagert, dass die linienförmigen Oberflächenunebenheiten der ersten Interferenzpixel sämtlich in eine Richtung weisen und dass die linienförmigen Oberflächenunebenheiten der zweiten Interferenzpixel sämtlich in eine Richtung weisen, also maximal einen Winkel von 5° , vorzugsweise von 1° einschließen. Die repetitiv nebeneinander angeordneten ersten Interferenzpixel und auch die zweiten Interferenzpixel werden folglich nicht bzw. kaum verdreht zueinander angeordnet.

25

Die linienförmigen Oberflächenunebenheiten der ersten Interferenzpixel und die linienförmigen Oberflächenunebenheiten der zweiten Interferenzpixel sind dabei bevorzugt orthogonal zueinander angeordnet und schließen vorzugsweise einen Winkel von 30° bis 150° , bevorzugt von 45° bis 135° , besonders bevorzugt von 60° bis 120° , ganz besonders bevorzugt von 80° bis 100° , insbesondere von 85° bis 95° ein. So können zweidimensionale Änderungen der Oberfläche erzeugt werden. Dadurch kann die Schwarzmarkierung weiter verbessert werden.

35

Da die Linienstrukturen die in verschiedenen Richtungen verlaufen isotropere Strukturen erzeugen, ist der optische Eindruck homogener, insbesondere in einen größeren Betrachtungsbereich hinein.

- 5 Vorzugsweise liegen im Schwarzmarkierungsbereich zweidimensionale Änderungen der Oberfläche, also zweidimensionale Oberflächenunebenheiten vor. Dies schließt sowohl die Punktstrukturen, also die Zapfen oder inversen Zapfen, als auch die oben beschriebenen überlagerten und einen Winkel im Bereich von 30° bis 150° einschließenden Linienstrukturen mit ein. Durch die zweidimensionale Änderung der Oberfläche kann eine gute
- 10 Oberflächenrauigkeit, also ein gutes Verhältnis der realen Oberfläche zur projizierten Oberfläche von wenigstens 120 %, vorzugsweise mehr, insbesondere wenigstens 150 %, bevorzugt wenigstens 250 %, besonders bevorzugt von wenigsten 300 %, ganz besonders bevorzugt von wenigstens 350 %, erreicht werden.
- 15 Die **Strukturtiefe** der ersten periodischen Struktur, also die Tiefe oder Höhe der Oberflächenunebenheiten bezogen auf die unstrukturierte Oberfläche auf der ersten äußeren Oberfläche liegt vorzugsweise im Bereich von 0,3 µm bis 60 µm, bevorzugt im Bereich von 0,5 µm bis 40 µm. Um derartige Strukturtiefen zu erreichen, liegt vorzugsweise ein Überlapp der Interferenzpixel vor. Als besonders vorteilhaft haben sich Strukturtiefen von über 1 µm
- 20 herausgestellt.

Deckschicht

Das oberflächenstrukturierte Substrat weist zumindest eine Deckschicht auf oder besteht aus dieser.

25

Im Sinne der Erfindung ist eine „Deckschicht“ eine Schicht des Substrats, welche bei bestimmungsgemäßigem Gebrauch zum Abschließen des Substrats gegenüber der Umwelt ausgebildet ist. Dabei begrenzt die Deckschicht das Substrat in wenigstens einer Raumrichtung und stellt den Abschluss des Substrats vorzugsweise direkt gegenüber dem

30 das Substrat umgebenden Medium, vorzugsweise Luft oder Wasser, dar.

Eine Deckschicht weist eine erste äußere Oberfläche auf, welche das Substrat bei bestimmungsgemäßigem Gebrauch nach außen, also gegenüber der Umwelt, abschließt, wobei die erste äußere Oberfläche der Deckschicht die Grenzfläche zwischen der

35 Deckschicht und der Umgebung definiert. Beispielsweise ist die Umwelt, die das Substrat umgibt, Luft.

Die Deckschicht weist eine zweite äußere Oberfläche auf, die auf der der ersten äußeren Oberfläche abgewandten Seite der Deckschicht angeordnet ist. Dabei kann die zweite äußere Oberfläche einen Abschluss des Bauteils zur Umwelt bilden oder aber als

- 5 Grenzfläche zu einer Grundsicht, vorzugsweise aus einem Trägermaterial, wie einem formgebenden Grundkörper, ausgebildet sein.

Im Sinne der Erfindung wird die zur Umwelt weisende Normale der ersten äußeren Oberfläche als Stapelrichtung oder als Beschichtungsrichtung bezeichnet.

10

Die Deckschicht ist nach einer vorteilhaften Ausgestaltung eine Beschichtung, welche in Stapelrichtung auf die Grundsicht aufgebracht wird. Die Grundsicht ist dann also mit der Deckschicht beschichtet.

- 15 Dabei kann die Deckschicht auch als Schichtstapel aus mehreren Teildeckschichten ausgebildet sein, wobei die erfindungsgemäßen Vertiefungen des strukturierten Bereiches der ersten äußeren Oberfläche der Deckschicht mehrere der Teildeckschichten durchdringen oder wenigstens in diese hineinreichen.

- 20 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung bildet die Deckschicht das Substrat.

Die Deckschicht, die bei bestimmungsgemäßem Gebrauch das oberflächenstrukturierte Substrat unmittelbar zur Umgebung abgrenzt, kann ein Metall, vorzugsweise Kupfer und/oder Aluminium, eine Legierung und/oder einen Halbleiter, vorzugsweise Silizium, aufweisen oder daraus gebildet sein. Dabei weist diese Deckschicht bevorzugt die erste äußere Oberfläche mit einem strukturierten und einem unstrukturierten Bereich auf.

25

Ein typisches Beispiel für eine Legierung ist Stahl oder Stahlguss, bspw. Edelstähle nach EN 10020, wie legierte Stähle, umfassend neben Eisen Legierungselemente ausgewählt aus der Gruppe umfassend Aluminium, Silizium, Chrom, Nickel, Molybdän, Titan, Niob, Wolfram, Vanadium, Cobalt und Mischungen daraus, bspw. V2A-Stahl; V4A-Stahl; Cr-Stahl; CrNi-Stahl; CrNiMo-Stahl; WStE 26 bis 36; WStE 39 bis 51; 15 MnNi 53; 20 MnMoNi 55; 19 Mn 5; 15 Mo 3; 13 CrMo 44; 10 CrMo 9 10; 14 MoV 6 3.

30

Es kann auch eine Grundsicht des oberflächenstrukturierten Substrats, welche eine Oberfläche aufweist, die aus einem strukturierten und einem unstrukturierten Bereich gebildet ist, ein Metall, vorzugsweise Kupfer und/oder Aluminium, eine Legierung und/oder

35

einen Halbleiter, vorzugsweise Silizium, aufweisen oder daraus gebildet sein.

Kennzeichnend dabei ist jeweils, dass in einer Schicht oder Teilschicht des
oberflächenstrukturierten Substrats, welche ein Metall, vorzugsweise Kupfer und/oder
Aluminium, eine Legierung und/oder einen Halbleiter, vorzugsweise Silizium, aufweist oder
5 daraus gebildet ist, ein strukturierter Bereich ausgebildet ist bzw. der strukturierte Bereich
wenigstens in eine solche Teilschicht hineinreicht.

Das Material der Deckschicht und/oder der Grundsicht kann einen Schmelzpunkt von
weniger als 1.400 °C, bevorzugt von weniger als 1.200 °C, besonders bevorzugt von weniger
10 als 1.100 °C, aufweisen. Insbesondere betrifft dies die Schicht, welche die strukturierte
Oberfläche aufweist.

Vorzugsweise liegt in dem strukturierten Bereich, vorzugsweise an der Oberfläche (d.h., an
der Grenzfläche des strukturierten Bereichs des Substrats), insbesondere bei Einsatz eines
15 Metalls und/oder einer Legierung, der Sauerstoffanteil im Bereich von zumindest 8 bis
40 Gew.-%, vorzugsweise im Bereich von zumindest 10 bis 30 Gew.-%, besonders
bevorzugt im Bereich von zumindest 15 bis 30 Gew.-%. Der Sauerstoffanteil hat den Vorteil,
dass es zu einer oberflächlichen Passivierung im strukturierten Bereich kommt, was im
Zusammenspiel mit der reinen durch die Topographie erzeugten Schwarzmarkierung zu
20 einem Kombinationseffekt führt, wodurch der Anteil absorbierter elektromagnetischer
Strahlung, insbesondere sichtbaren Lichts, bspw. ausgedrückt als Glanzfaktor (wie hierin
definiert), erhöht wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform liegt in dem strukturierten Bereich das
25 Massenverhältnis des Metalls und/oder eines Metalls der Legierung zur oxidierten Form des
Metalls im Bereich von 95:5 bis 50:50, vorzugsweise im Bereich von 90:10 bis 50:50,
besonders bevorzugt im Bereich von 85:15 bis 60:40, insbesondere im Bereich von 80:20 bis
60:40. Es kann alternativ auch keine oder nur eine geringe Oxidation auftreten.

Grundsicht/Grundkörper

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung ist die erste äußere Oberfläche des
oberflächenstrukturierten Substrats als Bestandteil einer Deckschicht ausgebildet und ist die
Deckschicht an eine Grundsicht angrenzend ausgebildet. Dabei kann es vorgesehen sein,
35 dass die Grundsicht für die Deckschicht als formgebender Grundkörper ausgebildet ist, auf
deren Oberfläche die Deckschicht zumindest teilweise angeordnet ist. Insbesondere wenn

die Grundschicht als formgebender Grundkörper ausgebildet ist, ist die Deckschicht auf diesem aufgebracht.

5 Die Grundschicht ist im Sinne dieser Erfindung ein Substrat, welches formgebend für das oberflächenstrukturierte Substrat ist, wobei daran angrenzend wenigstens eine Deckschicht bzw. Teildeckschicht, wie beispielsweise eine Schicht aus wenigstens einem Metall, vorzugsweise Kupfer und/oder Aluminium, einer Legierung und/oder einem Halbleiter, vorzugsweise Silizium angeordnet ist.

10 Der Begriff „formgebender Grundkörper“ bezeichnet im Sinne der Erfindung einen Gegenstand von konstruktiver Gestalt dem diese aktiv gegeben wurde, und der z.B. durch spanlose Formung (z.B. durch Pressen, Pressspritzen oder Spritzgießen) in allseitig geschlossenen Werkzeugen hergestellt worden ist. Alternativ dazu ist der Formkörper ein gewollt geformter Körper/Gegenstand in Form von Rohlingen.

15 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Grundschicht, insbesondere der formgebende Grundkörper aus einem transparenten oder teiltransparenten oder transluzenten Material, vorzugsweise aus Glas, gebildet oder weist ein transparentes oder teiltransparentes oder transluzentes Material, vorzugsweise Glas, auf.

20 Das Material, welches die Grundschicht oder den formgebenden Grundkörper bildet, kann auch aus der Gruppe der Kunststoffe, insbesondere der transparenten oder teiltransparenten oder transluzenten Kunststoffe, ausgewählt sein.

25 **Zu erreichende Effekte**

Es können sowohl innerhalb des Schwarzmarkierungsbereiches als auch in weiteren Bereichen der Oberfläche des Substrates andere Eigenschaften erzeugt werden. Dafür wird die Strukturierung innerhalb und/oder außerhalb des Schwarzmarkierungsbereiches entsprechend eingestellt, sodass aufgrund der eingebrachten Oberflächenunebenheiten die
30 entsprechenden Eigenschaften generiert werden.

Optische Effekte:

Antireflexion

Grundsätzlich wird an Oberflächen oder Grenzflächen ein Teil der einfallenden elektromagnetischen Strahlung in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung zum Teil reflektiert. Der verbleibende Rest der elektromagnetischen Strahlung wird in das Substrat transmittiert und dort wenigstens teilweise absorbiert.

- 5 Im Sinne der Erfindung beziehen sich Antireflexionseigenschaften hierin insbesondere auf das vermehrte Transmittieren, bzw. Beugen von einfallender elektromagnetischer Strahlung mit Wellenlängen im für den Menschen optisch sichtbaren Spektralbereich, insbesondere 380 bis 780 nm, oder im Bereich von Ultraviolettstrahlung (insbesondere 100 bis 380 nm) oder Infrarotstrahlung (insbesondere 780 bis 10.000 nm), sodass die elektromagnetische
- 10 Strahlung nicht reflektiert, sondern vorzugsweise durch das Substrat absorbiert wird. Für die Erzeugung einer Oberfläche, die Antireflexionseigenschaften aufweist, weisen die Vertiefungen, insbesondere die Zapfen oder inversen Zapfen oder die rillenförmigen Vertiefungen oder die rillenförmigen Erhöhungen, eines Interferenzpixels nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung eine **mittlere Strukturtiefe** bzw.
- 15 Profiltiefe im statistischen Mittel d_{50} im Bereich von 5 nm bis 10 μm , insbesondere im Bereich von 10 nm bis 5 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 50 nm bis 800 nm, ganz besonders bevorzugt von 100 nm bis 500 nm auf. Die Strukturtiefe der inversen Zapfen eines Interferenzpixels wird im Allgemeinen durch die mittlere Strukturtiefe (d_{50}) beschrieben, die innerhalb eines Interferenzpixels die Anteile der Zapfen mit einer bestimmten
- 20 Strukturtiefe kleiner oder größer als der angegebene Wert für die Strukturtiefe definiert.

Bevorzugt werden Antireflexionseigenschaften auf einer Oberfläche dadurch erreicht, dass der strukturierte Bereich durch eine periodische Struktur, vorzugsweise durch eine periodische Punktstruktur, im Nanobereich (Submikrometerbereich) aus Vertiefungen,

25 vorzugsweise inversen Zapfen oder Zapfen, mit mittleren Abmessungen im Submikrometerbereich gebildet ist oder eine solche periodische Punktstruktur im Nanobereich wenigstens aufweist. Die periodische Punktstruktur eines Interferenzpixels weist insbesondere eine **Interferenzperiode** von 100 nm bis 1.000 nm, besonders bevorzugt 200 nm bis 700 nm, ganz besonders bevorzugt von 200 nm bis 450 nm.

30

Die hierin definierten Strukturparameter zur Erzeugung einer Oberfläche, die Antireflexionseigenschaften aufweist, wie die Interferenzperiode und Strukturtiefe, insbesondere die Interferenzperiode, erlauben es vorteilhaft, den Anteil reflektierter Strahlung an einer Grenzfläche eines Substrates, vorzugsweise innerhalb des

35 Schwarzmarkierungsbereiches, um zumindest 50%, vorzugsweise zumindest 70%, besonders bevorzugt zumindest 80%, ganz besonders bevorzugt zumindest 90%, insbesondere zumindest 95% zu reduzieren.

Die Antireflexionseigenschaften für sichtbares Licht kommen insbesondere zustande, wenn die Abmessungen der erzeugten Struktur, also die Interferenzperiode und Abmessung der Vertiefungen, insbesondere der einzelnen Zapfen oder inversen Zapfen, in Bereichen kleiner als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegen, also vorzugsweise unterhalb von 700 nm.

Unter Reflexion versteht man in der Physik das Zurückwerfen von einer elektromagnetischen Welle an einer Grenzfläche von Materialien unterschiedlichen Brechungsindizes. Der Reflexionswinkel und der Transmissionswinkel von Licht in transparenten Substraten können allgemein über das Snelliussche Brechungsgesetz berechnet werden zu

$$n_1 \sin \delta_1 = n_2 \sin \delta_2$$

berechnet, wobei n_1 und n_2 den Brechungsindex des Umgebungsmediums, beispielsweise von Luft, und dem Material der Deckschicht oder Grundsicht angeben und δ_1 und δ_2 jeweils die Winkel des einfallenden und des reflektierten Strahls angeben.

Durch die periodische Struktur, insbesondere periodische Punktstruktur, auf der äußeren Oberfläche der Deck- oder Grundsicht verändert sich der Brechungsindex der Deck- oder Grundsicht im Bereich der Oberfläche oder Grenzfläche in der Form, dass sich ein gradueller Brechungsindex ergibt. Das hat zur Folge, dass Licht mit Wellenlängen größer der Interferenzperiode (p_n) der periodischen Punktstruktur vermehrt transmittiert wird. Licht mit Wellenlängen kleiner oder gleich der periodischen Struktur, vorzugsweise der periodischen Punktstruktur, wird an der Oberfläche gebeugt.

Antireflexionseigenschaften bezeichnen im Sinne der Erfindung Strukturen, vorzugsweise Punktstrukturen, aber auch Linienstrukturen, deren Abmessungen im Bereich der einfallenden elektromagnetischen Welle liegen, sodass der Brechungsindexunterschied „aufgeweicht“ wird, wodurch eine Einkopplung der einfallenden Welle in die entsprechende Schicht erfolgt. Dabei kann auch ein Teil der einfallenden elektromagnetischen Welle leicht vom Betrachter weggebeugt werden.

Zusätzlich umfasst der Begriff Antireflexionseigenschaften im Sinne der Erfindung auch, dass der Brechungsindex an der Grenze zwischen dem ersten Medium, zum Beispiel Luft, und dem Substrat, graduell ist, sodass für die einfallende elektromagnetische Welle kein klarer Übergang von einem Medium zum anderen vorhanden ist und die einfallende

elektromagnetische Welle vermehrt transmittiert wird. Vorzugsweise ist eine Anti-Reflexionseigenschaft dabei bzgl. Sichtbarem Licht zu verstehen.

Der Brechungsindex des strukturierten Substrats ist dabei durch die erzeugte periodische Punktstruktur graduell. Er nimmt über die Höhe der Struktur hinweg ab, sodass kein klarer Medium-Medium-Übergang existiert. Dadurch kommt es zur erhöhten Transmission von einfallenden elektromagnetischen Wellen mit einer Wellenlänge größer als die Interferenzperiode der erzeugten Struktur, vorzugsweise Punktstruktur, und zur Beugung von einfallenden elektromagnetischen Wellen mit einer Wellenlänge im Bereich der Interferenzperiode der erzeugten Struktur in die Deck- oder Grundschrift.

Im Sinne der Erfindung beschreibt ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit Antireflexionseigenschaften auch ein solches Substrat, welches einen strukturierten Bereich aufweist, der aus sich **überlagernden Strukturen** besteht, wobei also der ersten periodischen Struktur eine weitere Struktur überlagert ist, wobei mindestens eine Struktur Abmessungen im Mikro- oder Submikrometerbereich aufweist, und wobei zumindest eine Struktur aus Vertiefungen, insbesondere aus Zapfen oder inversen Zapfen oder rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen (wie hierin definiert), gebildet ist, welche insbesondere durch interferierende Laserstrahlen erzeugbar sind. Vorzugsweise ist die weitere Struktur eine Linienstruktur aus rillenförmigen Vertiefungen oder rillenförmigen Erhöhungen oder eine weitere periodische Punktstruktur aus Zapfen oder inversen Zapfen. So können vorteilhaft mehrere Eigenschaften der Oberfläche gleichzeitig eingestellt werden.

Beispielsweise kann der strukturierte Bereich, insbesondere die Struktur, aus sich überlagernden periodischen Strukturen, bei dem Einsatz von interferierenden Laserstrahlen durch entsprechende Ausgestaltung der Parameter, insbesondere der Verfahrensparameter, (Auswahl der Laserstrahlungsquelle, Anordnung der optischen Elemente) an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung optimal angepasst werden.

Nach einer möglichen Ausgestaltung weist ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit einer ersten äußeren Oberfläche mit anti-reflektierenden Eigenschaften eine periodische Struktur mit einer ersten Interferenzperiode auf, die **den strukturierten Bereich bildet**. Vorteilhaft können die Anti-Reflexionseigenschaften dadurch sehr zuverlässig und gut reproduzierbar eingestellt werden.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren zur Beeinflussung der Oberflächen- oder Grenzflächen-Eigenschaften (bspw. Ätzen, Sandstrahlen, Polymerbeschichtungen) ist es bei

Verwendung von Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten Laserinterferenzstrukturierung nicht erforderlich, dass die gesamte Oberfläche strukturiert werden muss. Der Anteil der strukturierten Oberfläche (Bedeckungsgrad an Vertiefungen, insbesondere inversen Zapfen, pro Flächeneinheit, der durch die Anzahl und den

5 Durchmesser bzw. die Breite der Vertiefungen, vorzugsweise der inversen Zapfen, bedingt ist), d.h. der Anteil des strukturierten Bereiches der Oberfläche beträgt vorzugsweise 3 % bis 99 %, besonders bevorzugt 5 % bis 80 %, ganz besonders bevorzugt 7 % bis 70 %, insbesondere 10 % bis 50 %. Dies erlaubt nicht nur eine bessere Nachweisbarkeit gegenüber herkömmlichen Verfahren zur Strukturierung/Beschichtung von Oberflächen,

10 sondern hat diesen gegenüber den Vorteil, dass weniger Defekte oder anfälligere Strukturen in die Ebene der Oberfläche und/oder Grenzfläche eingebracht werden, um die hierin definierten Eigenschaften zu erzielen.

Reduzierte Reflexion aufgrund des Falleneffektes

15 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung sind die Oberflächenunebenheiten als inverse Zapfen und/oder rillenförmige Vertiefungen ausgebildet. Somit trifft ein Teil der an der Oberfläche reflektierten Strahlen erneut auf einen Punkt innerhalb derselben Oberflächenunebenheit und es wird erneut ein Teil der elektromagnetischen Strahlung in das Substrat transmittiert.

20 Dadurch kann vorteilhaft der Anteil der in das Substrat transmittierten und dort absorbierten elektromagnetischen Strahlung erhöht und so die Reflexion vermindert werden. Dieses Phänomen wird im Sinne der Erfindung als reduzierte Reflexion aufgrund des Falleneffektes bezeichnet.

25 Die Reduzierung der Reflexion aufgrund des Falleneffektes (wie hierin definiert) durch die Ausbildung geeigneter strukturierter und unstrukturierter Bereiche auf der ersten äußeren Oberfläche eines Substrates ist führt insbesondere auch zu reduzierten Blendeffekten und es kann ganz allgemein der optische Eindruck durch einen matten Eindruck verbessert werden.

30 Die Reduzierung der Reflexion aufgrund des Falleneffektes (wie hierin definiert) durch die Ausbildung geeigneter strukturierter und unstrukturierter Bereiche auf der äußeren Oberfläche und/oder inneren Oberfläche eines Substrates ist von großer Bedeutung zur Reduktion von allgemeiner Reflexion, insbesondere auch zur Reduzierung von gerichteter Reflexion. Dabei sind die Oberflächenunebenheiten so tief ausgebildet, dass ein innerhalb

35 einer Oberflächenunebenheit reflektierter Lichtstrahl erneut auf eine Stelle innerhalb der Oberflächenunebenheit trifft und dadurch dort wiederum ein Teil in das Substrat eindringen

kann, wobei es zu Transmission, aber auch zu Absorption kommt. In jedem Fall wird durch derart tiefe Strukturen die Reflektion reduziert.

LU103058

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die strukturierten Bereiche, die zu einer Reduzierung der Reflexion aufgrund des Falleneffektes innerhalb der strukturierten Bereiche derart angeordnet, dass bezogen auf die Einfallrichtung elektromagnetischer Strahlung, vorzugsweise Licht, an dieser Grenzfläche, in die das Licht eintritt, inverse Zapfen und/oder rillenförmige Vertiefungen derart angeordnet sind, dass diese in das Substrat, hin ausgebildet sind.

Es kann eine solche Struktur zur Reduzierung der Reflektion aufgrund des Falleneffektes auch durch die Ausbildung eines geeigneten strukturierten und unstrukturierten Bereiches, insbesondere eines strukturierten Bereiches, auf der äußeren Oberfläche und/oder inneren Oberfläche des Substrats erzeugt werden.

Die Mantelfläche der Zapfen oder inversen Zapfen dient bei der Ausnutzung des Falleneffekts als Spiegelfläche, vorzugsweise quasi-homogene Spiegelfläche, die den Anteil reflektierter einfallender elektromagnetischer Strahlung innerhalb der inversen Zapfen und/oder rillenförmigen Vertiefungen, bis zum Sattelpunkt reflektiert, wobei an jedem weiteren Reflexionspunkt innerhalb der Seitenfläche ein Anteil (verbleibender) elektromagnetischer in das Substrat, dessen äußere Oberfläche und/oder innere Oberfläche aus einem derartigen strukturierten und einem unstrukturierten Bereich gebildet ist, einkoppelt. Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist die Seitenfläche der inversen Zapfen oder rillenförmigen Vertiefungen glatt ausgebildet.

Anti-Glare

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung kann auf dem Substrat, insbesondere im Schwarzmarkierungsbereich, eine Strukturierung erzeugt werden, die **Anti-Glare Eigenschaften** aufweist.

Mit Hilfe einer hierin beschriebenen Strukturierung, insbesondere Anti-Glare-Strukturierung der Oberflächen können Blendeffekte reduziert werden. Eine Anti-Glare Struktur streut auftreffende elektromagnetische Strahlung, bspw. Licht an einer Ebene des Substrates, insbesondere der Oberfläche des Substrates, so dass eine Spiegelung dieser elektromagnetischen Strahlung deutlich reduziert werden kann.

Unter Glare (Blendung) versteht man im Sinne der Erfindung die Reflexion des Lichts einer Lichtquellequelle (z. B. der Sonne) auf einem Substrat, bspw. einer Glasscheibe oder auch auf einem Metallelement.

- 5 Mit Hilfe einer Anti-Glare-Behandlung der Oberflächen (im Stand der Technik typischerweise durch Beschichtungen erzeugt) können diese Blendeffekte reduziert werden. Eine Anti-Glare Struktur streut auftreffendes Licht an der Oberfläche, so dass eine Spiegelung deutlich reduziert werden kann. Die Oberfläche wirkt in diesem Bereich dann vorteilhaft matt.
- 10 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Interferenzperioden der Punktstruktur des ersten Interferenzpixels und die Periode des zweiten Interferenzpixels identisch.

- 15 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst das Verfahren nach Schritt b) das Applizieren zumindest einer weiteren Art eines Interferenzpixel mit einer weiteren Interferenzperiode (p_n), bspw. ein drittes Interferenzpixel (12) mit einer dritten Interferenzperiode (p_3) auf die in Schritt b) bearbeitete Oberfläche des Substrates, insbesondere mittels Laserablation, wobei das weitere, bspw. das dritte Interferenzpixel (12) entsprechend der hierin definierten Merkmale zu dem ersten Interferenzpixel (10) und
- 20 zweiten Interferenzpixel (11) überlagert angeordnet wird. Dabei liegt das Verhältnis der weiteren Interferenzperiode (p_n) zu den anderen Interferenzperioden im vorzugsweise im Bereich von 20:1 bis 1:20, vorzugsweise im Bereich von 10:1 bis 1:10, besonders bevorzugt im Bereich von 5:1 bis 1:5, insbesondere 3:1 bis 1:3, wodurch die hierin definierten Eigenschaften, insbesondere die Anti-Glare-Eigenschaften oder die Reduktion der Reflexion
- 25 aufgrund des Falleneffektes innerhalb des Schwarzmarkierungsbereiches optimiert werden können.

- Dabei sind die so innerhalb eines Interferenzpixels erzeugten periodischen Strukturen, vorzugsweise periodischen Punktstrukturen, in Form als periodisch angeordnete
- 30 Vertiefungen, vorzugsweise Zapfen oder inverse Zapfen, ausgebildet. Dabei liegt die Interferenzperiode (d.h. der Abstand zwischen den Vertiefungen, vorzugsweise der Abstand zwischen den Scheitelpunkten zweier benachbarter inverser Zapfen – bzw. der Höhenmittelpunkte bezogen auf Zapfen- oder der Mittellinien der rillenförmigen Vertiefungen oder der Mittellinien der rillenförmigen Erhöhungen) einer periodischen Struktur,
- 35 vorzugsweise einer ersten periodischen Struktur, insbesondere auf einer Oberfläche der Deck- oder Grundschrift, die Anti-Glare-Eigenschaften aufweist, im statistischen Mittel im

Bereich von 1 μm bis 50 μm , bevorzugt im Bereich von 5 μm bis 50 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 10 μm bis 30 μm .

- Vorteilhaft können die einzelnen Pixel einer Art eines Interferenzpixels, also mit derselben
- 5 Interferenzperiode und mittleren Strukturtiefe, bspw. eines ersten Interferenzpixels, eines zweiten Interferenzpixels und/oder eines weiteren Interferenzpixels, die benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnet sind, global (d.h. über die Ausdehnung der zu strukturierenden Ebene) wahlweise eine periodische oder eine nicht-periodische Struktur, vorzugsweise eine periodische oder nicht-periodische Punktstruktur, ausbilden. Eine
- 10 vollperiodische Punktstruktur wird erzeugt bzw. liegt vor, wenn der vorhergehende Pixel und der nachfolgende Pixel einer Art eines Interferenzpixels jeweils um ein ganzes Vielfaches (bspw. 2, 3, 4, 5) der Interferenzperiode (p_n) in eine Raumrichtung zueinander verschoben sind. Es ergibt sich dadurch über die Ausdehnung der zu strukturierenden Ebene ein vollperiodisches Muster, dessen Periode der Interferenzperiode (p_n) entspricht. Eine quasi-
- 15 periodische Punktstruktur wird erzeugt bzw. liegt vor, wenn der vorhergehende Pixel und der nachfolgende Pixel einer Art eines Interferenzpixels jeweils um ein gleiches, von einem ganzen Vielfachen abweichendem, Vielfachen (bspw. 0,5; 1,3; 2,6) der Interferenzperiode (p_n) in eine Raumrichtung zueinander verschoben sind.
- 20 Demgegenüber wird eine nicht-periodische Punktstruktur erzeugt bzw. liegt vor, wenn die Interferenzperiode des nachfolgenden Pixels zum benachbarten, vorhergehenden Pixel variiert wird und/oder benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnete Pixel verdreht, bspw. Sukzessive verdreht appliziert werden.
- 25 Kennzeichnend dabei ist, dass der strukturierte Bereich aus einer Überlagerung mehrerer periodischer Strukturen gebildet ist. Dabei werden insbesondere mehrere Interferenzpixel derart repetitiv aneinander angrenzend angeordnet, sodass die erzeugte Global-Struktur, also die Struktur, die den strukturierten Bereich bildet, vorzugsweise nicht periodisch ist.
- 30 Dadurch entstehen vorzugsweise viele Streuzentren an der Oberfläche, die aufgrund ihrer Unregelmäßigkeit die elektromagnetische Strahlung, also das Licht, in unterschiedliche Richtungen streuen. Dadurch werden vorteilhaft starke Reflektionen in einzelne Richtungen vermieden. Weiterhin können so vorteilhaft Effekte vermieden oder wenigstens reduziert werden, welche durch Refraktionseffekte aufgrund einer Periodizität wie ein
- 35 regenbogenartiger Schimmereffekt wirken.

Um eine solche nicht-periodische Struktur zu erzeugen, weisen vorzugsweise wenigstens 70 %, bevorzugt wenigstens 90 %, besonders bevorzugt wenigstens 98 %, der benachbarten Interferenzpixel unterschiedliche Strukturparameter, also wenigstens einen unterschiedlichen Strukturparameter oder wenigstens zwei unterschiedliche Strukturparameter ausgewählt aus der Interferenzperiode, der Strukturtiefe bzw. mittleren Strukturtiefe, und der Anordnung der Zapfen oder inversen Zapfen innerhalb eines Interferenzpixels, auf. Dabei kann beispielsweise die Position der Vertiefungen, insbesondere der Zapfen oder inversen Zapfen geändert werden, um eine nicht-periodische Global-Struktur zu erhalten. Vorteilhaft kann dadurch bei hoher Prozessgeschwindigkeit eine geeignete Global-Struktur mit geringer Periodizität erhalten werden, wodurch vorteilhaft der Moiré-Effekt sowie Beugungseffekte vermieden werden können. Bevorzugt erfolgt die Änderung des oder der Strukturparameter nach einer zufälligen Verteilung, insbesondere mittels eines stochastischen Verfahrens.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist die Punktstruktur, die durch benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnete Pixel **einer Art** eines Interferenzpixels ausgebildet ist, eine vollperiodische Punktstruktur oder eine quasi-periodische Punktstruktur (jeweils wie vorstehend definiert).

Für die Erzeugung einer Oberfläche, die Anti-Glare-Eigenschaften aufweist, weisen die Vertiefungen, vorzugsweise die Zapfen oder inversen Zapfen, eines Interferenzpixels nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung eine **mittlere Strukturtiefe** bzw. Profiltiefe im statistischen Mittel d_{50} im Bereich von 5 nm bis 20 μm , besonders bevorzugt im Bereich von 50 nm bis 10 μm , ganz besonders bevorzugt von 100 nm bis bis 5 μm , noch mehr bevorzugt 200 nm bis 2 μm , auf. Die Strukturtiefe der inversen Zapfen eines Interferenzpixels wird im Allgemeinen durch die mittlere Strukturtiefe (d_{50}) beschrieben, die innerhalb eines Interferenzpixels die Anteile der Zapfen mit einer bestimmten Strukturtiefe kleiner oder größer als der angegebene Wert für die Strukturtiefe definiert.

Es kann dabei vorgesehen sein, dass zueinander benachbart angeordnete erste Interferenzpixel und/oder zweite Interferenzpixel wenigstens zu einem hohen Anteil von wenigstens 70 %, vorzugsweise wenigstens 90 %, bevorzugt zu wenigstens 98 %, variierende Strukturparameter, bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe umfassend die Interferenzperiode des Interferenzpixels, die Strukturtiefe der Vertiefungen, vorzugsweise der inversen Zapfen, den Durchmesser der Zapfen oder inversen Zapfen, die Breite der rillenförmigen Vertiefungen oder der rillenförmigen Erhöhungen, die Form der Zapfen oder inversen Zapfen und die Größe der Zapfen oder inversen Zapfen, aufweisen. Vorzugsweise

ist ein weiterer möglicher Strukturparameter die Anordnung bzw. die Position der Vertiefungen, vorzugsweise der Zapfen oder inversen Zapfen. Hierdurch kann vorteilhaft global, vorzugsweise auch lokal, ein hoher Grad an Unordnung, d.h. nicht periodischen Strukturen erzeugt werden, wodurch unerwünschte oder störende optische Effekte, wie Moiré-Effekte oder Farbeffekte, die durch Diffraktion an aufgetragenen Mikrostrukturen entstehen, minimiert oder verhindert werden.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Interferenzperiode der Punktstruktur zumindest eines jeden weiteren Interferenzpixels einer Art, bspw. jedes Interferenzpixel eines ersten Interferenzpixels, jedes Interferenzpixel eines zweiten Interferenzpixels und/oder jedes Interferenzpixel eines dritten Interferenzpixels, im Wesentlichen identisch, d.h. differieren maximal um 0% bis 2,0%, besonders bevorzugt um maximal 0 bis 1,0%. Ganz besonders bevorzugt sind die Interferenzperioden identisch. Hierdurch können die Parameter der Laserstrukturierungsvorrichtung, insbesondere der Laserinterferenzstrukturierungsvorrichtung zum Applizieren der Interferenzpixel auf die Ebene des Substrates konstant gehalten werden, was den Aufwand und das Entstehen von Fehlstrukturen minimiert.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung werden die benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordneten Interferenzpixel einer Art, bspw. das erste Interferenzpixel, das zweite Interferenzpixel und/oder das dritte Interferenzpixel sukzessive zum vorhergehenden Interferenzpixel dieser einen Art um eine innerhalb des Interferenzpixels angeordnete (vorzugsweise um eine zentrische) Drehachse (d.h. eine Normale zur Ebene) verdreht, bspw. alternierend oder sukzessive im Verhältnis zum vorhergehenden verdreht. Vorzugsweise wird das nachfolgende Interferenzpixel im Verhältnis zum vorhergehenden Interferenzpixel der Interferenzpixel einer Art im Bereich um 51° bis 90° , weiterhin im Bereich um 3° bis 85° , besonders bevorzugt um 5° bis 80° bis 75° , ganz besonders bevorzugt um 10° bis 75° , insbesondere im Bereich um 15° bis 60° verdreht. Hierdurch wird global über eine Ebene des Substrates, die durch eine Oberfläche des Substrates aufgespannt wird oder innerhalb des Volumens des Substrates, ein hoher Grad an Unordnung, d.h. nicht periodischen Strukturen erzeugt, wodurch ebenfalls unerwünschte oder störende optische Effekte, wie Moiré-Effekte oder Farbeffekte, die durch Diffraktion an aufgetragenen Mikrostrukturen entstehen, minimiert oder verhindert werden.

Allgemein wird zur Erzeugung geeigneter Anti-Glare-Eigenschaften angestrebt, durch die konkrete Auswahl der Strukturparameter der ersten und zweiten Interferenzpixel und jeder weiteren Art eines Interferenzpixels eine Punktstruktur mit gebrochener Periodizität, also

ohne resultierende Periodizität, zu generieren. Bevorzugt sind die erzeugten Punktstrukturen folglich nicht-periodisch angeordnet, wobei vorzugsweise die Interferenzperioden der ersten und der zweiten Interferenzpixel bzw. jeder weiteren Art eines Interferenzpixels verschieden (nicht identisch) zueinander sind. Periodische Effekte, welche das resultierende Bild stören, können so vorteilhaft vermieden werden.

Aus einer Überlagerung von ersten und zweiten Interferenzpixeln, welche identische Interferenzperioden aufweisen, können periodische Punktstrukturen resultieren, bei denen der unerwünschte Moiré-Effekt auftritt.

Auch eine nachteilige Änderung des Farbverhaltens wie sie aufgrund von Beugungseffekten an den eingeführten Strukturen auftreten können, werden durch einen hohen Grad an Unordnung vermieden.

Die vorhandene Punktstruktur führt zu einem Streuverhalten des auftreffenden Lichtes, wobei es sich um eine Vielzahl von minimalen Ablenkungsprozessen der Photonen an den eingebrachten Punktstrukturen handelt. Eine vorhandene Periodizität der Punktstrukturen kann somit eine Verstärkung von Ablenkungen der Photonen, also des Lichtes, in bestimmte Richtungen führen, wodurch ein Flitter oder Glitzer-Effekt erzeugt würde. Während dieser Effekt für bestimmte Anwendungen gewünscht ist, so soll er doch für viele weitere Anwendungen vermieden werden. Die Generierung von nicht-periodischen Strukturen führt hier vorteilhaft zu einer Reduzierung bzw. Vermeidung dieser Glitzereffekte.

Im vorgenannten Fall liegt der Versatz zwischen dem Interferenzpixel einer ersten Art und dem Interferenzpixel einer zweiten Art, bspw. dem zweiten Interferenzpixel und dem ersten Interferenzpixel im Bereich von $5\% \leq x \leq 50\%$, vorzugsweise im Bereich von $10\% \leq x \leq 50\%$, insbesondere im Bereich von $20\% \leq x < 50\%$, besonders bevorzugt im Bereich von $25\% \leq x \leq 45\%$ der Interferenzperiode. Ist die periodische Punktstruktur derart ausgebildet, dass ein Interferenzpixel einer weiteren Art vorgesehen ist, zumindest ein drittes Interferenzpixel, so ist dieses zu dem Interferenzpixel der vorhergehenden Art derart überlagert angeordnet, dass der Versatz zwischen dem Interferenzpixel der weiteren Art, bspw. dem dritten Interferenzpixel und dem zweiten Interferenzpixel im Bereich von $5\% \leq x \leq 50\%$, vorzugsweise im Bereich von $10\% \leq x \leq 50\%$, insbesondere im Bereich von $20\% \leq x < 50\%$, besonders bevorzugt im Bereich von $25\% \leq x \leq 45\%$ der Interferenzperiode liegt. Ein Versatz, welcher unterhalb der Interferenzperiode liegt, führt zu einer Erhöhung der Strukturdichte bzw. Dichte der Punktstruktur, woraus also ein erhöhter Streuquerschnitt und

vorteilhaft ein größerer Streueffekt bzw. eine stärkere Verminderung der gerichteten Reflexion resultiert.

5 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung weist das strukturierte Substrat, insbesondere die auf der Oberfläche des Substrates applizierte Punktstruktur zumindest eine weitere Art eines Interferenzpixel mit einer weiteren Interferenzperiode, bspw. ein drittes Interferenzpixel mit einer dritten Interferenzperiode auf, wobei das weitere, bspw. das dritte Interferenzpixel entsprechend der vorgenannten Ansprüche zu dem ersten Interferenzpixel und zweiten Interferenzpixel überlagert angeordnet ist. Hierdurch können in
10 der Ebene des zu strukturierenden Substrates vorteilhaft weitere Defekte (d.h. Punktstrukturen im Mikro- und Submikrometerbereich) erzeugt werden. Eine höhere Anzahl an inversen Zapfen erhöht die Anzahl der Streuzentren und reduziert die gerichtete Reflektion. Vorteilhaft kann hierdurch auch der Grad an Unordnung, d.h. nicht periodischen Strukturen erhöht werden, wodurch unerwünschte oder störende optische Effekte, wie Moiré-
15 Effekte oder Farbeffekte, die durch Diffraktion an aufgebrachten Mikrostrukturen entstehen, minimiert oder verhindert werden. Darüber hinaus reduziert oder vermeidet dies beispielsweise bei dem Einsatz von Displays das Auftreten eines Glitzer- bzw. Glitter-Effektes, der in Folge von Oberflächenstrukturen größer oder gleich von Displaypixeln auftritt. Bei einem Glitzer- bzw. Glitter-Effekt leuchtet ein Displaypixel nur einen Teil des
20 Oberflächenmerkmals aus, so dass Streueffekte entstehen, die man makroskopisch als periodisches Muster wahrnimmt.

Vorzugsweise handelt es sich bei der hierin definierten Struktur zur Erzeugung von Anti-Glare-Eigenschaften, vorzugsweise Punktstruktur, um eine **nicht periodische**
25 **Punktstruktur** aus Zapfen oder inversen Zapfen mit mittleren Abmessungen im Mikrometerbereich, wobei die Struktur eines Interferenzpixels insbesondere einen mittleren Abstand bezogen auf den jeweiligen Sattelpunkt bzw. Höhenmittelpunkt zweier benachbarter Zapfen eines Interferenzpixels von 1 μm bis 50 μm , besonders bevorzugt 5 μm bis 50 μm , ganz besonders bevorzugt von 10 μm bis 30 μm aufweist. Dieser bevorzugt anti-
30 periodischen Punktstruktur im Mikrometerbereich kann eine weitere Struktur im Nanometerbereich überlagert sein, wobei die mittlere Abmessung der überlagernden Struktur bevorzugt Abmessungen im Bereich der Laserwellenlänge λ , bzw. $\lambda/2$, insbesondere von 100 nm bis 1.000 nm, besonders bevorzugt von 200 nm bis 500 nm aufweist. Im Sinne der Erfindung wird eine solche Struktur auch als hierarchische Struktur bezeichnet.

35

Die Erfindung umfasst auch ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit Anti-Glare-Eigenschaften, wobei eine erste äußere Oberfläche Anti-Glare-Eigenschaften aufweist.

Vorzugsweise weist eine solche Oberfläche weiterhin eine zweite periodische Struktur, vorzugsweise zweite periodische Punktstruktur, mit einer zweiten Interferenzperiode auf.

Dabei kann einerseits eine Variation der Interferenzperiode die Periodizität der Struktur, insbesondere der Global-Struktur reduzieren, wodurch der Anti-Glare-Effekt verbessert wird. Weiterhin kann eine zweite periodische Struktur aber auch weitere Eigenschaften erzeugen.

So umfasst die Erfindung auch ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit Anti-Glare-Eigenschaften, wobei eine erste äußere Oberfläche, insbesondere innerhalb des Schwarzmarkierungsbereiches, Anti-Glare-Eigenschaften und auch weitere Eigenschaften, wie beispielsweise ein erhöhter Wärmeübergangskoeffizient an der Oberfläche aufweist. Die überlagerten Strukturen werden dabei so erzeugt, wie in den entsprechenden Abschnitten zu den konkreten Eigenschaften beschrieben.

VERFAHREN

Von der vorliegenden Erfindung ist auch ein Verfahren zur Herstellung eines oberflächenstrukturierten Substrats, wie hierin definiert, bei das oberflächenstrukturierte Substrat wenigstens eine erste äußere Oberfläche mit einem Schwarzmarkierungsbereich aufweist, wobei der Schwarzmarkierungsbereich die erste äußere Oberfläche durch einen strukturierten Bereich und einen unstrukturierten Bereich gebildet ist, mitumfasst. Das Verfahren zur Erzeugung eines strukturierten Substrates (wie hierin definiert) umfasst vorzugsweise die folgenden Schritte:

- a) Bereitstellen eines zu strukturierenden Substrates, wobei das zu strukturierende Substrat eine Grenzfläche aufweist, wobei die Grenzfläche als direkte Kontaktfläche zwischen der zu strukturierenden Oberfläche des zu strukturierenden Substrats und einem daran angrenzenden Medium, bspw. ein Gas oder eine Hilfsschicht, ausgebildet ist, wobei das zu strukturierende Substrat oder das daran angrenzende Medium ein Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von zumindest $20 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, vorzugsweise zumindest $50 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, bevorzugt zumindest $100 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, besonders bevorzugt zumindest $200 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, gemessen bei 20°C , aufweist oder daraus besteht,
- b) Applizieren eines strukturierten Bereichs auf die zu strukturierende Oberfläche, insbesondere auf einer ersten äußeren Oberfläche, des zu strukturierenden

Substrates, insbesondere mittels Laserablation (wie hierin definiert), wodurch ein Schwarzmarkierungsbereich auf der zu strukturierenden Oberfläche erzeugt wird, wobei der strukturierte Bereich zumindest ein erstes Interferenzpixel mit einer ersten Interferenzperiode (p_1) aufweist,

wobei das erste Interferenzpixel aus einer ersten periodischen Struktur aus wenigstens drei Oberflächenunebenheiten gebildet wird, wobei die Oberflächenunebenheiten insbesondere als eine einzelne Linienstruktur, eine einzelne Punktstruktur, mehrere überlagerte Linienstrukturen, mehrere überlagerte Punktstrukturen oder auch überlagerte Punkt- und Linienstrukturen ausgebildet sein können,

wobei der Abstand zweier benachbarter Oberflächenunebenheiten eine erste Interferenzperiode (p_1) beträgt,

wobei der strukturierte Bereich ferner mehrere weitere versetzt zueinander angeordnete Interferenzpixel aufweist,

wobei der strukturierte Bereich durch überlagertes Applizieren der ersten Interferenzpixel () auf einer Oberfläche oder im Volumen innerhalb der Grenzfläche des Substrates gebildet wird,

wobei die ersten Interferenzpixel einen Überlapp, insbesondere einen Pixel-zu-Pixel Überlapp (wie hierin definiert), von wenigstens 90%, bevorzugt von wenigstens 95%,

besonders bevorzugt von wenigstens 99%, ganz besonders bevorzugt von wenigstens 99,5% aufweisen.

Besonders vorteilhaft kann hierdurch auf dem Substrat eine Oberflächenstrukturierung erzeugt werden, die eine Schwarzmarkierung, mit einer gegenüber dem unstrukturierten Bereich des Substrats **reduzierten Reflexion** aufweist.

Vorzugsweise liegt die erste Interferenzperiode (p_1) im Bereich von 50 nm bis 200 μm , vorzugsweise von 1 μm bis 45 μm .

Weiterhin vorzugsweise weist der Schwarzmarkierungsbereich ein Verhältnis der realen Oberfläche zur projizierten Oberfläche von wenigstens 120%, auf.

Erfindungsgemäß wird der strukturierte Bereich auf einer Oberfläche des Substrates zumindest durch überlagertes Applizieren mehrerer erster Interferenzpixel mit einer ersten Interferenzperiode (p_1) auf der ersten äußeren Oberfläche des Substrates gebildet, wodurch

ein Interferenzpixel-zu-Interferenzpixel Überlapp (hierin auch nur kurz als " Überlapp der Interferenzpixel" oder bei Applikation mittels Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere mittels Laserinterferenzstrukturierung als „Puls-zu-Puls Überlapp“ bezeichnet).

Dies bedeutet, dass ein erstes Interferenzpixel zu zumindest einem weiteren ersten

- 5 Interferenzpixel mit der ersten Interferenzperiode (p_1) und/oder einem zweiten Interferenzpixel mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) und/oder einem weiteren Interferenzpixel mit einer weiteren Interferenzperiode (p_n) derart versetzt zueinander angeordnet werden kann, dass bspw. wenigstens 50% der versetzt zueinander angeordneten Interferenzpixel einen Überlapp von wenigstens 95%, bevorzugt von
- 10 wenigstens 97%, besonders bevorzugt von wenigstens 99%, ganz besonders bevorzugt von wenigstens 99,5%, noch mehr bevorzugt von wenigstens 99,8% mit einem benachbarten Interferenzpixel, vorzugsweise mit mehreren benachbarten Interferenzpixeln aufweisen. Vorteilhaft wird durch das sehr enge Anordnen von benachbart zueinander angeordneter periodischer Strukturen, insbesondere periodischer Punktstrukturen und/oder
- 15 Linienstrukturen, bspw. durch benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordneter Pixel einer Art eines Interferenzpixels, die Oberfläche im strukturierten Bereich des Substrates noch stärker im Verhältnis zur projizierten Oberfläche vergrößert, insbesondere auf wenigstens 200%, besonders bevorzugt auf wenigstens 250% vergrößert, wodurch vorteilhaft die Wärmeübertragungseigenschaften verbessert, insbesondere der
- 20 Wärmeübergangskoeffizient erhöht wird. Somit kann eine bessere Wärmeabfuhr von einem Substrat oder Element, bspw. einem Bauelement, erzielt werden.

Bevorzugt erfolgt das Strukturieren der Oberfläche eines Substrates, d.h. das Applizieren der strukturierten Bereiche umfassend ein erstes, zweites, drittes und/oder weiteres

- 25 Interferenzpixel durch ein mechanisches Verfahren, mittels chemischer (Nach-)Behandlung und/oder durch ein Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere mittels Laserinterferenzstrukturierung.

Zur Herstellung von Substraten, deren äußere Oberfläche zumindest teilweise aus einem

- 30 strukturierten und einem unstrukturierten Bereich gebildet ist, kann als mechanisches Verfahren beispielsweise Lithographie, insbesondere Photolithographie oder Imprint-Lithographie, wie Nano-Imprint-Lithographie, verwendet werden. Bei der Lithographie wird in der Regel auf der zu strukturierenden Oberfläche des Substrates eine Opferschicht angeordnet. Die Opferschicht dient einer Maskierung der zu strukturierenden Oberfläche und
- 35 kann nach der Lithographie, insbesondere vollständig, entfernt werden. Beispielsweise kann die Opferschicht auf der zu strukturierenden Oberfläche aufgebracht und nachfolgend

strukturiert werden. Die laterale Struktur der Opferschicht kann dann, insbesondere mittels eines Ätzverfahren, auf die Oberfläche des Substrates übertragen werden.

LU103058

white ip
patent & legal

Bei der Photolithographie ist die Opferschicht meist eine photosensitive Lackschicht, dessen chemische Eigenschaften mittels Bestrahlung durch eine entsprechend strukturierte Maske, etwa eine Metallmaske, hindurch, lokal modifiziert werden, was ein Ausbilden der strukturierten Bereiche in der Opferschicht ermöglicht. Mit diesem Verfahren kann eine Strukturierung von Flächen mit Strukturgrößen von wenigen Mikrometern in lateraler Richtung erzielt werden. Sowohl regelmäßige als auch unregelmäßige Strukturen können so hergestellt werden.

Die Imprint-Lithographie, bspw. der Nanoprägelithografie (engl. Nano-Imprint-Lithography) ist ein Mikroformverfahren bzw. ein Kontaktstrukturierungsverfahren bei dem die Strukturierung der Oberfläche eines Substrates, bspw. der Opferschicht mittels eines Formwerkzeugs erfolgt, das geeignet strukturiert ist. Dieses Formwerkzeug, etwa ein entsprechend strukturierter Stempel, wird in die Oberfläche des zu strukturierenden Substrats eingedrückt. Das zu strukturierende Substrat kann hierbei beispielsweise ein thermoplastisches Polymer (Thermoplastic Nano Imprint Lithography, T-NIL) oder ein photosensitives Material (Photo Nano Imprint Lithography, P-NIL) enthalten. Das zu strukturierende Substrat kann allerdings auch ein zumindest teilweise erweichtes Metall und/oder eine Legierung umfassen oder daraus bestehen. Als Metalle eignen sich hierfür insbesondere Metalle mit einem geringen Schmelzpunkt bzw. Erweichungspunkt, wie bspw. Kupfer (Cu), Silber (Ag), Gold (Au), Zinn (Sn), Blei (Pb), Zink (Zn), Aluminium (Al) oder Mischungen bzw. Legierungen, wie bspw. Kupferlegierungen mit Zinn, Zink, Nickel und/oder Blei, daraus. Mittels Nano-Imprint-Lithographie können Oberflächen auf besonders einfache Weise strukturiert werden. Insbesondere können besonders kleine laterale Strukturgrößen, also Strukturen unterhalb von 1 µm bis in den Bereich unterhalb von 10 nm hergestellt werden. Die Nano-Imprint-Lithographie ist deshalb für die Herstellung von Strukturgrößen, die in der Größenordnung der Wellenlänge von Strahlung im infraroten, sichtbaren oder ultravioletten Spektralbereich liegen, etwa für die Herstellung von Strukturen für ein photonisches Gitter, besonders geeignet. Ein derartiges Verfahren eignet sich insbesondere, wenn die strukturierten Bereiche der Oberfläche des Substrates eine periodische Punktstruktur (wie hierin definiert) aufweisen sollen, die aus Zapfen und/oder inversen Zapfen gebildet sind. Zur Herstellung des Formwerkzeuges bietet es sich dabei an, das Negativ der gewünschten periodischen Punktstruktur auf der zu strukturierenden Oberfläche des Substrats, insbesondere ein Negativ mit einer entsprechend komplementären periodischen Struktur, die entsprechend aus inversen Zapfen und/oder Zapfen gebildet ist, zur indirekten Aufbringung oder

Erzeugung von Strukturen auf einem anderen Substrat zu applizieren, bspw. durch Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten Laserinterferenzstrukturierung, und dieses Negativ auf die zu strukturierende Oberfläche des Substrates zu übertragen.

5

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann das Strukturieren der Oberfläche des Substrates mittels Laserstrukturapplikationsverfahren, insbesondere der direkten Laserinterferenzstrukturierung erfolgen. Dabei geschieht die Erzeugung einer periodischen Intensitätsverteilung auf der Oberfläche des Substrates oder in dessen Volumen durch

10 Interferenz von gepulsten Laserstrahlen durch Aufspalten des ursprünglichen Laserstrahls in mehrere Teilstrahlen und durch anschließendes Übereinanderführen dieser Teilstrahlen in einem beliebigen festen Punkt (Fokussierpunkt) auf der Oberfläche des Substrates oder im Volumen des Substrates.

15 Ein strukturierter Bereich auf einer äußeren Oberfläche eines zu strukturierenden Substrats kann dabei folgendermaßen erzeugt werden:

Es wird ein zu strukturierendes Substrat, bevorzugt auf zumindest einer Seite flächig ausgebildeten Substrat, bereitgestellt, welches sich auf einer Haltevorrichtung befindet. Von
20 einer Laserstrahlungsquelle wird ein Laserstrahl emittiert. Dieser Laserstrahl wird durch ein Strahlteilerelement, das auch als optisches Strahlteilerelement bezeichnet werden kann, in zumindest drei, besonders bevorzugt zumindest vier Teilstrahlen geteilt. Die so erzeugten Teilstrahlen treffen auf ein Fokussierelement auf, welches die zumindest drei, besonders
25 bevorzugt vier Teilstrahlen auf der Oberfläche des Substrats, bevorzugt auf zumindest einer Seite flächig ausgebildeten Substrat, fokussiert (bündelt), sodass die Teilstrahlen auf der Oberfläche des Substrats konstruktiv und destruktiv interferieren. Somit wird eine periodische Punktstruktur im Mikro- und/oder Submikrometerbereich auf der Oberfläche des Substrats, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, durch
30 Laserinterferenzbearbeitung erzeugt. Dabei werden die zumindest drei Teilstrahlen so überlagert, dass ein 2D-Muster entsteht.

Die periodische Punktstruktur wird nach einer Variante des Verfahrens innerhalb eines Interferenzpixels mittels eines einzelnen Laserpulses, hierin als **Einfachbestrahlung** bezeichnet, auf der äußeren Oberfläche des zu strukturierenden Substrats erzeugt. Eine
35 Einfachbestrahlung bedeutet dabei, dass der Interferenzpixel innerhalb eines Bearbeitungsschrittes vorzugsweise nur einmal mittels eines einzelnen Laserpulses belichtet wird. Es wird also eine Punktstruktur mit einer Interferenzperiode innerhalb eines

Interferenzpixels durch die Belichtung mit nur einem Laserpuls erzeugt. Dabei überlappen nebeneinander angeordnete Interferenzpixel vorzugsweise nicht, sodass ein entstandener inverser Zapfen nicht erneut beleuchtet wird. Die maximale Laserpulsenergie ist dabei von der Pixelgröße sowie vom Material abhängig. Vorzugsweise liegt die minimale Pulsenergie

im Bereich von 50 μJ bis 20 mJ, besonders bevorzugt im Bereich von 300 μJ bis 800 μJ . Vorteilhaft ist somit eine hohe Prozessgeschwindigkeit erreichbar. Zusätzlich kann das Verwenden einer Einfachbestrahlung das Auftreten von quasi-periodischen Wellenstrukturen, sog. LIPSS, durch unkontrollierte Selbstorganisationsprozesse, welche die optischen Eigenschaften der Substratoberfläche dahingehend verändern, verhindern.

Folglich kann durch eine Einfachbestrahlung ein Auftreten der LIPSS-Strukturen verhindert werden. Dadurch kann eine deutlich präzisere Prozesskontrolle erreicht und zuverlässig eine die gewünschte Eigenschaft des Schwarzmarkierungsbereichs erzeugt werden.

Dass die periodische Punktstruktur innerhalb eines Interferenzpixels durch Applizieren eines einzelnen Laserpulses mittels Einfachbestrahlung erzeugt wird, hat darüber hinaus den Vorteil, dass sehr geringe Strukturtiefen erzeugt werden können, was insbesondere bei dünnen Substraten von Vorteil ist.

Vorzugsweise werden durch Einfachbestrahlung geringe Strukturtiefen, die entsprechend des Materials bzw. der Materialzusammensetzung des Substrats eingestellt werden können. Beispielsweise lassen sich hierdurch Strukturtiefen im Bereich von 0,05 μm bis 2 μm , bevorzugt von 0,1 μm bis 1 μm erreichen. Beispielsweise können hierdurch auch Strukturierungen von Substraten erzielt werden, die sich zudem durch Antireflexionseigenschaften auszeichnen, wobei die Strukturtiefen im Bereich von 5 nm bis 200 nm, besonders bevorzugt im Bereich von 5 nm bis 150 nm, ganz besonders bevorzugt 10 nm bis 100 nm liegen. Durch das Verwenden eines einzelnen Laserpulses wird gewährleistet, dass die Strukturtiefen der periodischen Punktstruktur eine geringe Ausprägung haben. Vorteilhaft wird so erreicht, dass die optischen Eigenschaften des Substrats gegenüber dem unstrukturierten Substrat nicht verschlechtert sind.

Ungeachtet dessen kann auch bei der Strukturierung mittels Einfachbestrahlung vorgesehen sein, dass ein Puls-zu-Puls Überlapp eingestellt wird. Dies bedeutet, dass ein erstes Interferenzpixel zu einem zweiten und/oder weiteren Interferenzpixel derart versetzt zueinander angeordnet werden kann, dass bspw. wenigstens 50% der versetzt zueinander angeordneten Interferenzpixel einen Überlapp von wenigstens 95%, bevorzugt von wenigstens 97%, besonders bevorzugt von wenigstens 99%, ganz besonders bevorzugt von wenigstens 99,5% mit einem benachbarten Interferenzpixel, vorzugsweise mit mehreren

benachbarten Interferenzpixeln aufweisen. Die Strukturierung mittels Puls-zu-Puls Überlapp hat den Vorteil, dass zumindest einzelne erzeugte Strukturelemente innerhalb eines ersten, zweiten und/oder weiteren Interferenzpixels mehrfach bestrahlt werden. Hierdurch kann durch Selbstorganisationsprozesse eine der periodischen Punktstruktur **überlagerte quasi-periodische Linienstruktur als Wellenstruktur**, insbesondere sog. LIPSS, ausgebildet werden. Vorteilhaft sind so hierarchische Strukturen auf der Oberfläche des Substrats schnell und somit effektiv erzeugbar, wodurch die Oberflächenrauheit der Wandung einer periodischen Punktstruktur insbesondere im Nano- und/oder Submikrometerbereich, insbesondere im Nanometerbereich, erhöht werden kann, was eine Vergrößerung der Oberfläche zur Folge hat.

Insbesondere ist das Erreichen der gewünschten Interferenzperioden der durch die Selbstorganisationsprozesse erzeugten LIPSS von den Materialeigenschaften des zu strukturierenden Substrats und den Eigenschaften des zur Strukturierung verwendeten Laserstrahls abhängig, insbesondere von der Wellenlänge des Laserstrahls. Eine gewünschte Interferenzperiode ist also über eine geeignete Auswahl der Laserstrahlungsquelle einstellbar.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird derselbe Interferenzpixel mittels mehrerer aufeinanderfolgender Laserpulse durch eine **Mehrfachbestrahlung** bearbeitet. Mehrfachbestrahlung bedeutet dabei, dass derselbe zu strukturierende Bereich des Substrats durch mehrere aufeinanderfolgende Laserpulse bearbeitet wird, wobei das durch die Überlagerung von Teilstrahlen erzeugte 2D-Muster eines ersten Pulses gegenüber einem zweiten und/oder weiteren Pulses deckungsgleich oder im Wesentlichen deckungsgleich (d.h., mit einer topologischen Verschiebung von weniger als 1,0%, vorzugsweise von weniger als 0,5%) ist. Es wird also eine Punktstruktur mit einer Interferenzperiode innerhalb eines Interferenzpixels mehrmals belichtet, wobei ein entstandener inverser Zapfen erneut einmal oder mehrmals belichtet wird. Die Pulslänge ist dabei durch den Nutzer einstellbar.

Insbesondere wird bei diesem Verfahren derselbe Interferenzpixel mittels Mehrfachbestrahlung bearbeitet. Somit bildet sich in Folge der aufeinanderfolgenden Mehrfachbestrahlung, insbesondere zumindest drei, besonders bevorzugt zumindest vier aufeinanderfolgende Pulse mit identischen Verfahrensparametern eines Interferenzpixels durch Selbstorganisationsprozesse eine der periodischen Punktstruktur **überlagerte quasi-periodische Linienstruktur als Wellenstruktur** aus. Unter Verfahrensparametern sind im Sinne der Erfindung bspw. die Einstellung des Abstands des Strahlteileres zum Fokussierelement, die Laserpulsdauer, die Laserpulsenergie, die Laserwellenlänge und/oder

die Position des Interferenzbereichs auf dem Substrat zu verstehen.

Selbstorganisationsprozesse bezeichnen insbesondere sog. **LIPSS**, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt sind. LIPSS treten in Folge eines teilweisen Erwärmens der Substratoberfläche und dem anschließenden Erstarren derselben in Form von regelmäßigen, quasi-periodischen (wie hierin definierten) Wellenstrukturen auf. Vorteilhaft sind so hierarchische Strukturen auf der Oberfläche des Substrats schnell und somit effektiv erzeugbar, wodurch die Oberflächenrauheit der Wandung einer periodischen Punktstruktur erhöht werden kann, was eine Vergrößerung der Oberfläche zur Folge hat. Eine Neueinstellung der Laserinterferenzvorrichtung und/oder eine Neuausrichtung des Substrats ist dafür nicht notwendig. Zusätzlich sind die Strukturparameter der periodischen Punktstruktur, insbesondere die Strukturtiefe somit ebenfalls einstellbar. Vorzugsweise wird eine geringe Strukturtiefe hierbei dadurch erreicht, dass die Prozessparameter, insbesondere die Laserpulsenergie, derart angepasst werden, dass der Energieeintrag durch die Mehrfachbestrahlung pro Interferenzpixel möglichst gering bleibt.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird durch **Mehrfachbestrahlung** mit zueinander **abweichenden Verfahrensparametern** eine weitere periodische Punktstruktur oder periodische Linienstruktur mit einer von der Interferenzperiode der ersten periodischen Struktur, der zweiten periodischen Struktur und/oder einer weiteren periodischen Struktur verschiedenen Interferenzperioden auf das Substrat aufgebracht. Dabei betreffen die abweichenden Verfahrensparameter insbesondere den **Abstand des Strahlteilerelements zum Fokussierelement**, wodurch die Interferenzperiode der weiteren periodischen Punktstruktur oder Linienstruktur im Vergleich zur ersten periodischen Punktstruktur verändert wird. Aber auch eine zusätzliche Veränderung der Laserpulsdauer und/oder -energie ist möglich. Somit kann vorteilhaft eine flexible zweite Struktur mit Abmessungen im Mikro- und/oder Submikrometerbereich auf das Substrat aufgebracht werden, die von der ersten periodischen Punktstruktur unabhängig ist. Dadurch ist eine einfache Ausrichtung der Interferenzpixel auf dem Substrat gewährleistet. Zusätzlich ist so der Anteil der strukturierten Fläche auf der Substratoberfläche erhöht, sodass bestimmte Eigenschaften, wie beispielsweise der Falleneffekt zur Reduzierung der Reflexion eine größere Rolle spielt.

Die Laserpulsdauer liegt vorzugsweise im Bereich von 50 fs bis 100 ns, bevorzugt im Bereich von 500 fs bis 50 ns, besonders bevorzugt im Bereich von 800 fs - 20 ns, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 1 ps bis 10 ns liegt. Dadurch kann die Energie vorteilhaft so begrenzt werden, dass definierte Strukturen erzeugbar sind. Durch diese kurzen Laserpulsdauer kann ein unerwünschtes und/oder unkontrolliertes Aufschmelzen des Substrates (bspw. in Form einer strukturellen oder chemischen Umwandlung), insbesondere

in Folge lokaler Überhitzung bspw. durch einen zu hohen Energieeintrag, unterbunden oder zumindest minimiert werden. Dies ist insbesondere bei den hierin eingesetzten „empfindlichen“ Materialien die die Substrate aufweisen oder aus denen die die Substrate bestehen vorteilhaft.

5

Bei längeren Pulsen ab 1 ns wird mehr Wärme, also Energie, in das Material eingebracht und es wird eine größere Menge an Material aufgeschmolzen, wodurch sich lokale Wellenfronten (an den Maxima) bilden, die sich übereinanderstülpen können und somit zu großen Strukturhöhen führen.

10

Bei kürzeren Pulsen bis zu 1 ns, insbesondere bis zu 500 ps, trägt man das Material eher ab. Relevante Effekte sind hier die kalte Ablation bzw. die Materialzerstäubung, sodass eher Vertiefungen entstehen und wenig bis nichts aufschmilzt.

15

Die Laserstrahlungsquelle ist vorzugsweise dazu eingerichtet, Wellenlängen im Bereich von 100 nm bis 15 μ m (bspw. CO₂-Laser im Bereich von 10,6 μ m), ganz besonders bevorzugt im Bereich von 266 nm bis 1.064 nm zu emittieren. Als Laserstrahlungsquelle eignen sich beispielsweise UV-Laserstrahlquellen (155 nm bis 355 nm), Laserstrahlquellen, die grünes Licht (532 nm) emittieren, Diodenlaser (typischerweise 800 nm bis 1000 nm) oder Laserstrahlquellen, die im nahen infrarot (typischerweise 1064 nm) Strahlung emittieren, insbesondere mit einer Wellenlänge im Bereich von 200 nm bis 650 nm Wellenlänge. Für die Mikroverarbeitung geeignete Laser sind dem Fachmann bekannt und umfassen beispielsweise HeNe-Laser, HeAg-Laser (ca. 224 nm), NeCu-Laser (ca. 249 nm), Nd:YAG Laser (ca. 355 nm), YAG-Laser (ca. 532 nm), InGaN-Laser (ca. 532 nm).

20

25

Die Laserpulsenergie beträgt vorzugsweise 50 μ J bis 20 mJ, bevorzugt 300 μ J bis 800 μ J, besonders bevorzugt 500 bis 800 μ J. Durch diese geringe Laserpulsenergie pro Laserpuls kann ein unerwünschtes und/oder unkontrolliertes Aufschmelzen des Substrates (bspw. in Form einer strukturellen oder chemischen Umwandlung), insbesondere in Folge lokaler Überhitzung bspw. durch einen zu hohen Energieeintrag, unterbunden oder zumindest minimiert werden. Dies ist insbesondere bei den hierin eingesetzten „empfindlichen“ Materialien die die Substrate aufweisen oder aus denen die die Substrate bestehen vorteilhaft.

30

35

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden Pulse im ps-Bereich verwendet. Dadurch kann der Energieeintrag verringert und so auch die

Wärmediffusionslänge reduziert werden. Das ermöglicht ein Erzeugen von definierten Strukturen auch bei Materialien mit hohen Wärmeleitfähigkeiten.

5 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind die Interferenzperioden der periodischen Struktur des ersten Interferenzpixels (p_1) und die Interferenzperioden des zweiten Interferenzpixels (p_2) und/oder jedes weiteren Interferenzpixels (p_n) identisch.

10 Nach einer vorteilhaften Ausführung des Verfahrens erfolgt das Applizieren zumindest eines strukturierten Bereichs auf einer zu strukturierenden Oberfläche, insbesondere auf einer ersten äußeren Oberfläche, des zu strukturierenden Substrats indirekt, wobei eine Hilfsschicht durch eine transparente Grundsicht strukturiert wird, wobei die transparente Grundsicht als das zu strukturierende Substrat ausgebildet ist. Dabei werden die Laserstrahlen, insbesondere die Laserteilstrahlen, durch die transparente Grundsicht geleitet und auf die Grenzfläche zwischen Grundsicht und Hilfsschicht, welche
15 vorzugsweise aus einem Material, wie hierin definiert, insbesondere einem Metall ausgebildet ist, insbesondere auf die Oberfläche der Hilfsschicht, fokussiert. Das Material der Hilfsschicht ist dabei so ausgewählt, dass es im Gegensatz zur Grundsicht das Licht des Lasers besonders gut absorbiert. Dadurch kommt es zu einem partiellen Aufschmelzen der Hilfsschicht, insbesondere an der Oberfläche der Hilfsschicht, an der Grenzfläche zur
20 Grundsicht. Es kann dadurch eine Struktur auf der Grundsicht erzeugt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst daher vor dem Schritt des Applizierens zumindest eines strukturierten Bereichs an einer Grenzfläche, insbesondere auf der Oberfläche des zu strukturierenden Substrates, auch das Bereitstellen einer Hilfsschicht.

25 Vorzugsweise ist die zu strukturierende Oberfläche des zu strukturierenden Substrates und die daran angrenzende Oberfläche der Hilfsschicht komplementär (d.h., deckungsgleich) zueinander, vorzugsweise jeweils planar, insbesondere planparallel zueinander, ausgebildet, was es erlaubt, die zu strukturierende Oberfläche des zu strukturierenden Substrates in Deckung mit der angrenzenden Oberfläche der Hilfsschicht zu bringen.

30

Durch das Applizieren zumindest eines strukturierten Bereichs an einer Grenzfläche der transparente Grundsicht zu der Hilfsschicht wird durch einen Materialübertrag von der Hilfsschicht auf die zu strukturierende transparente Grundsicht ein strukturierter Bereich durch Oberflächenunebenheiten aus dem Material der Hilfsschicht ausgebildet. In einer
35 Ausführungsform verbleibt die Hilfsschicht im Anschluss an Schritt (b) auf der transparenten Grundsicht, wobei die transparente Grundsicht bspw. als Deckschicht auf der Hilfsschicht, die bspw. in einem Bauelement eine andere Funktion übernimmt, ausgebildet

ist. Im Anschluss an Schritt (b) kann die Hilfsschicht von der Grundschrift entfernt werden, wodurch eine Deckschicht an der Grundschrift verbleibt. Vorteilhaft kann so eine gute Wärmeableitung auch auf transparenten Materialien erreicht werden.

- 5 Vorzugsweise weist die Grundschrift ein transparentes Material (wie hierin in Bezug auf die Teiltransparenz oder Transluzenz definiert), vorzugsweise Glas (z.B. Borosilikatgläser, Quarzgläser, Alkali-Erdalkali-Silikatgläser (bspw. Kalknatronglas), Alumosilikatgläser, metallische Gläser), aber auch feste Polymere (z.B. Polycarbonate, wie Makrolon® und Apec®; Polycarbonatblends, wie Polycarbonatpolyester (Makroblend®) und Bayblen®;
- 10 Polymethylmethacrylat, wie Plexiglas®; Polyester; 10 Polyethylenterephthalat, Polypropylen, Polyethylen) sowie transparente Keramiken (bspw. Spinell-Keramiken, wie Mg-Al-Spinell, Aluminiumoxynitrid (ALON), Aluminiumoxid, Yttriumaluminiumgranat, Yttriumoxid oder Zirkonoxid) oder Mischungen daraus, aufweist oder aus einem transparenten Material, vorzugsweise Glas, gebildet ist. Ein geeignetes Material für die transparente Grundschrift ist
- 15 dabei Glas, welches eine geeignete Transparenz bzw. Transluzenz (jeweils wie hierin definiert), insbesondere im Bereich des sichtbaren Lichtes aufweist.

Das Material der Grundschrift weist erfindungsgemäß einer Wärmeleitfähigkeit von wenigstens 20 W/(m·K) auf.

20

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung behält das transparente Substrat, insbesondere die transparente Grundschrift, und deren Oberfläche, insbesondere dessen Wärmeübergangsbereich auf der ersten äußeren Oberfläche, aus einem strukturierten und einem unstrukturierten Bereich gebildet ist, nach dessen Strukturierung (d.h. nach

25

Applikation einer ersten, zweiten und/oder weiteren Linien- und/oder Punktstruktur, wie hierin definiert) weiterhin wenigstens teilweise seine Transparenz, sodass es weiterhin transparent oder zumindest teiltransparent ist.

Anti-Glare

30

Die Erfindung umfasst auch ein Verfahren zur Herstellung eines laseroberflächenstrukturierten Substrats, welches Anti-Glare-Eigenschaften aufweist, vorzugsweise mittels Laserinterferenzstrukturierung, aufweisend folgende Schritte:

- a) Bereitstellen eines Substrates,
- b) Applizieren von zumindest einem ersten Interferenzpixel mit einer ersten
- 35 Interferenzperiode (p1) auf einer ersten äußeren Oberfläche des Substrates,

wobei jedes der ersten Interferenzpixel () eine periodische Struktur von zumindest drei Oberflächenunebenheiten, vorzugsweise Zapfen oder inverse Zapfen oder rillenförmige Vertiefungen oder rillenförmige Erhöhungen, mit einer ersten Interferenzperiode (p_1) aufweist,

5 wobei

der strukturierte Bereich durch überlagertes Applizieren der ersten Interferenzpixel () auf der ersten äußeren Oberfläche des Substrates gebildet wird.

Eine geeignete Möglichkeit zum Generieren von Anti-Glare-Eigenschaften ist dabei das Erzeugen von hierarchischen Strukturen, bei denen die Interferenzperiode und/oder mittlere

10 Strukturtiefe sich um wenigstens einen Faktor 10 unterscheidet. Besonders bevorzugt werden hierarchische Strukturen so erzeugt, dass mittels **Mehrfachbestrahlung** Selbstorganisationsprozesse effektiv quasi-periodische Strukturen, insbesondere quasiperiodische Linienstrukturen, erzeugen. Dadurch kann vorteilhaft die Oberflächenrauheit erhöht und die Dichte der Vertiefungen einfach erhöht werden. Dies
15 ermöglicht vorteilhaft eine hohe Prozessgeschwindigkeit.

Eine mögliche Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, dass eine periodische Struktur zunächst mittels eines Laserinterferenzverfahrens auf einer **Negativform** erzeugt und mittels der Negativform auf der Deckschicht aufgebracht wird.

20

Alternativ nutzt das Verfahren zur Erzeugung der Strukturen nur eine **Einfachbestrahlung** oder wenigstens eine maximal 2-fache oder maximal drei-fache Bestrahlung, bei der LIPSS-Strukturen vermieden werden können. So können sehr zuverlässig reproduzierbare Strukturen erzeugt werden.

25

Nach einer vorteilhaften Variante zur Erzeugung einer nicht-periodischen Global-Struktur unterscheidet sich beim Erzeugen von benachbarten Interferenzpixeln zu einem hohen Anteil von wenigstens 70 %, vorzugsweise wenigstens 90 %, bevorzugt wenigstens 98 %, wenigstens einer der Strukturparameter.

30

Nach einer vorteilhaften Ausführung der Erfindung werden die benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordneten Interferenzpixel einer Art, bspw. das erste Interferenzpixel, das zweite Interferenzpixel und/oder das dritte Interferenzpixel mittels einem

35 Laserinterferenzverfahren erzeugt und sukzessive zum vorhergehenden Interferenzpixel dieser einen Art dadurch modifiziert, dass eine Phasenverschiebung in wenigstens einem der wenigstens zwei für das Laserinterferenzverfahren verwendeten Teilstrahlen zu einer Änderung der Position der Vertiefungen innerhalb eines Interferenzpixels führt.

Dafür wird vorzugsweise die Polarisierung eines für Interferenzstrukturierung verwendeten Teilstrahls variiert. Dadurch kann die Phasenverschiebung zu einer Änderung der Strukturparameter, insbesondere der Position der Vertiefungen, führen.

5

Die Erfinder haben überdies herausgefunden, dass eine Modifikation der Strukturparameter ausgewählt aus der Gruppe umfassend die Interferenzperiode des Interferenzpixels, die Strukturtiefe der inversen Zapfen, den Durchmesser der inversen Zapfen, die Form der inversen Zapfen und die Größe der inversen Zapfen zu einer hierin bevorzugten Asymmetrie

10

(Nicht-Periodizität) innerhalb der globalen Punktstruktur und somit zu einer erwünschten Asymmetrie der aufgerauten Struktur beiträgt. So kann vorgesehen sein, dass die vorgenannten Strukturparameter einzelner, benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordneter Pixel einer Art eines Interferenzpixels, bspw. die Pixel des ersten

15

es sich beispielsweise an, die Strukturtiefe eines jeden nachfolgenden Pixels zum benachbarten, vorhergehenden Pixel graduell zu erhöhen und ab einem anderen Pixel graduell wieder zu verringern. Hierzu eignet sich im Verfahren, dass ein jedes nachfolgendes Pixel mit einer variierenden, bspw. graduell ansteigenden Pulsenergie (im Bereich wie hierin definiert) und/oder einer graduell ansteigenden Pulsdauer bzw. Pulsweite (wie hierin

20

definiert) auf der Oberfläche des Substrates oder im Volumen des Substrates appliziert wird. Auch kann vorgesehen sein, dass ein einzelner Strukturparameter beim Applizieren eines Pixels einer Art eines Interferenzpixels innerhalb eines Bereichs stochastisch variiert wird. Beispielsweise kann in dem Verfahren das Verdrehen eines nachfolgenden Pixels zum

25

benachbarten, vorhergehenden Pixel nicht sukzessiv (also gleichförmig erfolgt), sondern innerhalb des hierin definierten Winkelbereichs alternierend erfolgen, bspw. zunächst in eine Richtung und dann in eine andere oder dieselbe Richtung jeweils mit der gleichen oder einer anderen Winkelverschiebung.

30

Eine bevorzugte Ausführung des Verfahrens sieht vor, dass einer oder mehrere Strukturparameter zufällig oder nach einem stochastischen Verfahren auf die unterschiedlichen Interferenzpixel verteilt sind, sodass die meisten benachbarten Interferenzpixel keine identischen Strukturparameter aufweisen.

35

LASERINTERFERENZSTRUKTURIERUNGSVORRICHTUNG

LU103058

Als Beispiel für eine Laserinterferenzstrukturierungsvorrichtung zur Erzeugung eines strukturierten Substrates, insbesondere eines Substrats mit einem

5 Schwarzmarkierungsbereich betrifft die vorliegende Erfindung auch eine Laserinterferenzstrukturierungsvorrichtung zur direkten Laserinterferenzstrukturierung eines Substrats, beispielhaft sind hierin flächige und/oder transparente Substrate zu nennen, umfassend

- eine Laserstrahlungsquelle (1) zum Emittieren eines Laserstrahls,
- 10 - ein Strahlteilerelement (2), das im Strahlengang (3) des Laserstrahls, insbesondere im Strahlengang (3) des von der Laserstrahlungsquelle (1) emittierten Laserstrahls, angeordnet ist,
- ein Fokussierelement (4), das derart eingerichtet ist, dass dieses die Teilstrahlen derart durchlaufen, dass die Teilstrahlen auf der Oberfläche oder im Volumen eines
- 15 Substrats, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats (5) in einem Interferenzbereich interferierbar sind,

wobei der Strahlteiler (2) entlang seiner optischen Achse im Strahlengang (3) frei beweglich ist, und wobei der Strahlteiler (2) dazu eingerichtet ist, den einfallenden Laserstrahl, der von der Laserstrahlungsquelle (1) ausgesandt wird, in zumindest 3, vorzugsweise zumindest 4

20 Teilstrahlen, insbesondere 4 bis 8, also 4, 5, 6, 7, oder 8 Teilstrahlen, aufzuteilen.

Besonders bevorzugt ist der Strahlteiler (2) derart eingerichtet, dass dieser den einfallenden Laserstrahl in ein geradzahliges Vielfaches, d.h. 4, 6 oder 8 Teilstrahlen, ganz besonders bevorzugt 4 Teilstrahlen aufteilt.

25 Alternativ oder ergänzend hierzu kann ein Strahlteilerelement (2) derart vorgesehen sein, dass dieser einen ersten Strahlteiler und zumindest einen, dem ersten Strahlteiler nachgeordneten weiteren Strahlteiler umfasst, wobei der erste Strahlteiler den einfallenden Laserstrahl in zumindest 2 Teilstrahlen aufteilt und der weitere Strahlteiler in zumindest

30 einem Strahlengang eines Teilstrahls angeordnet ist und diesen Teilstrahl beim Durchlaufen in zumindest 2 Teilstrahlen aufteilt.

Zur Laserinterferenzstrukturierung des Substrats (5), bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, wird hierbei der von der Laserstrahlungsquelle emittierte

35 Laserstrahl durch das Strahlteilerelement (2) in zumindest 3, bevorzugt zumindest 4 Teilstrahlen aufgeteilt. Aus dem Stand der Technik sind lediglich Zweistrahlinterferenzen

(d.h. Strukturierung mittels Interferenz von zwei Teilstrahlen) bekannt. Derartige Zweistrahlinterferenzen erzeugen jedoch nur Linienstrukturen auf dem Substrat.

5 Im Anschluss werden die Teilstrahlen durch das Fokussierelement (4) so umgelenkt, dass sie auf der Oberfläche oder im Inneren eines Substrats (5), bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, in einem Interferenzbereich interferieren.

10 Dadurch kann eine zweidimensionale, periodische Punktstruktur mit Abmessungen im Mikro- und Submikrometerbereich erzeugt werden, deren Strukturperiode durch die Verschiebung des Strahlteilerelements (2) entlang seiner optischen Achse frei einstellbar ist. Eine flächige Bearbeitung eines Substrats (5), bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, ist möglich.

15 Nach einer bevorzugten Ausgestaltung handelt es sich bei dem Strahlteilerelement um ein einzelnes optisches Element, insbesondere ein diffraktives oder refraktives optisches Element, welches derart aufgebaut ist, dass die Unterteilung des einfallenden Laserstrahls auf den optischen Eigenschaften des Strahlteilerelements basiert. Somit ist vorteilhaft gewährleistet, dass gegenüber einem mehrteiligen Strahlteilerelement, welches aus mehreren optischen Elementen (bspw. Spiegel, Prismen, etc.) besteht, ein einfacher
20 optischer Aufbau realisierbar ist. Die gewünschte Strahlaufteilung ist erreichbar, ohne dass ein Kalibrieren, bzw. Anpassen der Anordnung von mehreren optischen Elementen zueinander notwendig ist. Auch ist die Beweglichkeit des Strahlteilerelements im Strahlenganz einfach zu realisieren, da nur das Bewegen eines einzelnen optischen Elements durchzuführen ist. Zudem ergeben sich durch das Verwenden eines einteiligen
25 Strahlteilerelements weniger verschleißanfällige Komponenten, welche ggf. auszutauschen sind.

Als Vorteil der hierin definierten Vorrichtung kann genannt werden, dass durch diese Vorrichtung und dem mit ihrer Hilfe realisierbaren Verfahren bei der Strukturierung von
30 Substraten, insbesondere bei der Erzeugung einer Struktur mit verbesserten Wärmeübertragungseigenschaften, insbesondere mit einem erhöhten Wärmeübergangskoeffizienten, auf die Verwendung von Chemikalien und deren aufwändige Entsorgung verzichtet werden kann. Darüber hinaus kann somit auch auf die Aufreinigung der Substrate verzichtet werden.

35 Des Weiteren können eine breite Anzahl von Substraten, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substraten, insbesondere transparente Materialien mit der Vorrichtung

bearbeitet werden. Da das Verfahren nicht vom Brechungsindex oder der Haftung bestimmter Beschichtungsmaterialien auf dem Substrat abhängig ist, ist dieses Verfahren also flexibler als herkömmliche chemische Verfahren.

- 5 Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren, wie bspw. der **WO 2019/166836 A1** ist die Bearbeitungszeit nach diesem Verfahren deutlich geringer, da die Periodizität der Strukturen durch die Interferenz der einfallenden, zumindest 3, vorzugsweise zumindest 4 Teilstrahlen in einem Interferenzbereich gewährleistet wird, und nicht durch zeitintensivere Selbstorganisationsprozesse zustande kommt. Zudem ist gegenüber herkömmlichen
- 10 Verfahren von Vorteil, dass die Form (strukturelle Ausgestaltung; Geometrie) der erzeugten Mikro-/Nanostrukturen kontrolliert werden kann. Durch die Anzahl der interferierenden (Teil-)Strahlen, deren Polarisierung, sowie durch die Einstellung der Prozessparameter, können die Strukturen in der Geometrie gesteuert werden und dadurch die Wärmeübertragungseigenschaften, insbesondere den Wärmeübergangskoeffizienten, gezielt
- 15 beeinflusst werden.

Ferner ist die Stabilität der so erzeugten Punktstruktur zu erwähnen, die im Vergleich zu herkömmlichen Beschichtungen beständiger ist, da sie sich nicht über die Zeit und die einsatzbedingte Materialbeanspruchung vom zu beschichtenden Substrat lösen kann.

20

Wird die Strukturierung im Volumen, d.h. im Inneren des Substrats, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, insbesondere in dem transparenten Material vorgenommen, so ist die entstandene Strukturierung (d.h. die Punktstruktur des strukturierten Substrats) unempfindlicher gegen Stöße und Abrieb als herkömmliche

25

Beschichtungen. Die Erfinder haben herausgefunden, dass die Strukturierung (hierin auch als Texturierung bezeichnet) im Inneren des Materials (d.h. unterhalb der Oberfläche) nicht zwingend Antireflexionseigenschaften erzeugt. Die Texturierung im Inneren des Materials ist jedoch für andere Anwendungsgebiete interessant, wie Produktschutz, optische Datenspeicherung, Dekoration, usw.

30

Von besonderem Vorteil ist, dass durch den hierin offenbarten Aufbau der Vorrichtung bzw. die Anordnung der optischen Komponente Substrate mit sehr hohen Strukturierungsraten von bis zu 4,0 m²/min, insbesondere im Bereich von 0,01 bis 4,0 m²/min, besonders bevorzugt im Bereich von 0,05 bis 3,5 m²/min, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 0,1

35 bis 3,0 m²/min strukturiert werden können. Dies ist dadurch gewährleistet, dass der Bereich, in dem die zumindest drei Teilstrahlen überlagert werden, durch eine bevorzugte Auswahl optischer Elemente aufgeweitet werden kann, wodurch in einem Bearbeitungsschritt eine

große Fläche bestrahlt werden kann. Im Gegensatz zu dem Fachmann bekannten Verfahren LU103058 wie dem direkten Laserschreiben ist keine starke Fokussierung zum Erzeugen von hochauflösenden Merkmalen notwendig.

VERWENDUNG

5

AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

LU103058

Anhand folgender Figuren und Ausführungsbeispiele wird die vorliegende Erfindung näher erläutert, ohne die Erfindung auf diese zu beschränken.

Dabei zeigt

- 5 **Fig. 1:** ein Ausschnitt durch ein Substrat mit einer periodischen Punktstruktur
- Fig. 2:** ein Ausschnitt durch ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit einer periodischen Punktstruktur
- Fig. 3:** ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit einer periodischen Struktur, welche als periodische Linienstruktur ausgebildet ist.
- 10 **Fig. 4:** Ein oberflächenstrukturiertes Substrat mit Linienstrukturen, die in zwei Richtungen verlaufen zum Erzeugen von zweidimensionalen Oberflächenunebenheiten
- Fig. 5:** Die Erzeugung von Zapfen mittels einer Hilfsschicht.
- Fig. 6:** eine rillenförmige Vertiefung.
- Fig. 7A:** eine schematische Darstellung eines inversen Zapfens.
- 15 **Fig. 7B:** eine schematische Darstellung einer zapfenähnlichen Vertiefung mit kreisförmiger Grundfläche.
- Fig. 7C:** eine schematische Darstellung einer zapfenähnlichen Vertiefung mit unregelmäßiger Grundfläche.
- 20 **Fig. 8:** einen kumulativen Aufbau der Punktstruktur aus einer Überlagerung mehrerer Interferenzpixel,
- Fig. 9:** eine Punktstruktur, welche aus der Überlagerung von mehreren ersten und zweiten Interferenzpixeln gebildet ist,
- Fig. 10:** eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.
- 25 **Fig. 11:** eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die ein Umlenkelement (6) zur Parallelisierung der Teilstrahlen enthält.
- Fig. 12:** eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die ein Umlenkelement (7) zur Aufweitung des Winkels der Teilstrahlen zur optischen Achse des Strahlengangs (3) enthält.
- 30 **Fig. 13A:** eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die optische Elemente (6) mit einer planaren, reflektierenden Oberfläche, die die Teilstrahlen auf das Fokussierelement (4) umlenken, enthält.

Fig. 13B: eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die als optisches Element zur Strahlformung einen Galvo-Spiegel (9) umfasst, was eine ortsfeste Positionierung des zu strukturierenden Substrats während des Prozesses der Strukturierung erlaubt.

5 **Fig. 14:** eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei die Vorrichtung ein Polarisationselement (8), welches den Phasenverlauf der Teilstrahlen zueinander verschiebt, enthält, wobei

A) das Strahlteilerelement (2) im Strahlengang (3) nah an der Laserstrahlungsquelle (1) positioniert ist.

10 B) das Strahlteilerelement (2) im Strahlengang (3) nah am Umlenkelement (7) positioniert ist.

Fig. 15: eine schematische Ansicht der sich auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats ergebenden Interferenzpixel mit der Weite D , und die Verteilung der einzelnen Interferenzpixel auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats, wobei die Interferenzpixel zueinander verschoben sind mit der Pixeldichte P_d .

Fig. 16: eine schematische perspektivische Ansicht des strukturierten Substrats (5) mit den erzeugten periodischen Punktstrukturen, bestehend aus inversen Zapfen, mit Abmessungen im Mikro- und Submikrometerbereich, und symbolisch die Transmission von einfallenden elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen größer als die Interferenzperiode der erzeugten Strukturen, sowie die Beugung von einfallenden elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen im Bereich oder kleiner der erzeugten Strukturen.

Fig. 17: eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die als optisches Element einen Galvospiegel (9) mit einer planaren, reflektierenden Oberfläche, die die Teilstrahlen auf das Fokussierelement (4) umlenken, sowie ein Polygonrad (91) enthält.

Fig. 18: eine grafische Darstellung des Diffraktionswinkels von einfallendem Licht über der Wellenlänge des einfallenden Lichts für strukturierte Substrate mit drei unterschiedlichen Strukturweiten.

30 **Fig. 19:** eine schematische perspektivische Ansicht des strukturierten Substrats (5) mit den erzeugten periodischen Punktstrukturen, bestehend aus inversen Zapfen, mit Abmessungen im Mikrometerbereich, der eine periodische Wellenstruktur im Submikrometerbereich überlagert ist.

Fig. 20: eine schematische

35 A) Draufsicht und

B) eine Schnittansicht

einer quasi-periodischen Wellenstruktur im Submikrometerbereich.

Fig. X1: eine schematische Darstellung der Reduzierung der Reflektion aufgrund des Falleneffektes in inversen Zapfen

5

In **Fig. 1** ist ein Abschnitt eines Substrates 5 in einer perspektivischen Ansicht dargestellt. Das Substrat 5 weist eine erste äußere Oberfläche 32 auf. Die erste äußere Oberfläche 32 ist in der Regel der Umwelt, also insbesondere der Luft, dem Wasser oder einem anderen Fluid zugewandt.

10 Die erste äußere Oberfläche 32 ist aus einem strukturierten Bereich 28 und einem unstrukturierten Bereich 29 gebildet. Der hier dargestellte strukturierte Bereich 28 ist aus einer periodischen Struktur aus Oberflächenunebenheiten 34 gebildet. Nach einer alternativen Ausgestaltung kann der strukturierte Bereich 28 auch aus einer Überlagerung mehrerer periodischer Strukturen gebildet sein, sodass die überlagerte Struktur, auch als
15 Globalstruktur, bei Punktstrukturen auch als Global-Punktstruktur bezeichnet, nicht periodisch, insbesondere nicht vollperiodisch, sein muss. Die Oberflächenunebenheiten 34 sind hier als inverse Zapfen 14 ausgebildet, wobei die periodische Struktur eine periodische Punktstruktur ist.

20 Ein Abschnitt eines oberflächenstrukturierten Substrats 5, aufweisend eine Grundsicht 37 und eine an die Grundsicht 37 angrenzende Deckschicht 35, ist in **Fig. 2** in einer perspektivischen Darstellung dargestellt.

Auch hier ist die erste äußere Oberfläche 32 des Substrates 5 aus einem strukturierten Bereich 28 und einem unstrukturierten Bereich 29 gebildet. Dabei bildet in der hier
25 dargestellten Variante die Gesamtheit der inversen Zapfen 14 den strukturierten Bereich 28.

Fig. 3 zeigt ein oberflächenstrukturiertes Substrat 5 mit einer periodischen Struktur, welche als periodische Linienstruktur ausgebildet ist. Hier sind die auf der ersten äußeren Oberfläche 32 der Deckschicht 35 des Substrates 5 angeordnete

30 Oberflächenunebenheiten 34, aus denen der strukturierte Bereich 28 gebildet ist, als rillenförmige Vertiefungen 36 mit einer großen Ausdehnung in einer ersten Dimension Dim1 ausgebildet. Die Ausdehnung der rillenförmigen Vertiefungen 36 in einer zweiten Dimension Dim2 und in einer dritten Dimension Dim3 ist deutlich geringer.

Die Periodizität der Struktur ergibt sich aus der Wiederholung der rillenförmigen Vertiefungen 36 mit gleichmäßigem Abstand, sodass die Interferenzperiode p , insbesondere die erste Interferenzperiode p_1 , von einem bestimmten Punkt der rillenförmigen Vertiefung 36, beispielsweise dem tiefsten Punkt, zu dem diesem Punkt entsprechenden Punkt der daneben angeordneten rillenförmigen Vertiefung 36 reicht.

In **Fig. 4** ist ein Substrat 5 dargestellt, bei dem erste und zweite rillenförmige (linienförmige) Vertiefungen 36A, 36 B als Oberflächenunebenheiten 34 dargestellt sind, deren erste Dimensionen Dim1A und Dim1B in unterschiedlichen Richtungen verlaufen. Dadurch bilden die verbleibenden unstrukturierten Bereiche 29 zweidimensionale Änderungen der Oberfläche. Der strukturierte Bereich wird hier durch die rillenförmigen Vertiefungen 36A, 36B gebildet. Die unterschiedlichen Richtungen Dim1A und Dim1B schließen dabei einen orthogonalen Winkel ein.

In **Fig. 5** werden Zapfen 43 auf einem Substrat 5 dadurch erzeugt, dass eine Hilfsschicht 31 auf einer transparenten Grundsicht 37 aufgelegt wird. Ein Laserstrahl 3 wird dabei durch das für die Wellenlänge des Laserlichtes transparente Grundsicht 37 bis zur Hilfsschicht 31 geleitet. Die Oberfläche der Grundsicht 37, die zur Hilfsschicht 31 weist wird dabei abgerastert, sodass Zapfen 43 entstehen. Daraufhin wird die Hilfsschicht 31 entfernt und es verbleiben lediglich die Zapfen 43 aus dem Material der Hilfsschicht 31. Die Zapfen bilden dabei die Deckschicht 35.

In **Fig. 6** ist eine als rillenförmige Vertiefung 36 ausgebildete Oberflächenunebenheit 34 schematisch dargestellt. Die tiefste Linie ist bei einer solchen symmetrischen Struktur die Mittellinie 39.

Der Bereich des Schnittes der rillenförmigen Vertiefung 36 mit der entsprechenden Oberfläche wird als Grundfläche 40 der Oberflächenunebenheit bezeichnet. Die Grundfläche 40 bildet dann den Abschnitt des strukturierten Bereiches der Oberfläche, welcher dieser Oberflächenunebenheit zugeordnet werden kann. Die Seitenflächen 41 sind hier glatt ausgebildet. Eine rillenförmige Vertiefung kann aber auch mit einer quasi-periodischen Linienstruktur überlagert sein. Die Breite b der rillenförmigen Vertiefung 36 ist bei diesem Ausführungsbeispiel geringer ausgebildet als die Strukturtiefe x .

In **Fig. 7A** ist eine schematische Darstellung eines mittels eines Laserinterferenzverfahrens erzeugten inversen Zapfens 14, welcher die Strukturtiefe x aufweist, dargestellt. Die

Grundfläche 40 des inversen Zapfens 14 ist hier kreisförmig mit einem Durchmesser d ausgebildet. Die Seitenflächen 41 sind glatt ausgebildet.

Eine schematische Darstellung einer zapfenähnlichen Vertiefung 42, wie sie beispielsweise mittels eines Ätzprozesses unter Verwendung einer, hier nicht dargestellten Maske mit kreisförmigen Öffnungen, generiert werden kann, ist in **Fig. 7B** gezeigt. Die dargestellte Grundfläche 40 ist zwar kreisförmig, aber die Seitenflächen 41 sind unregelmäßig ausgebildet.

In **Fig. 7C** ist schematische Darstellung einer zapfenähnlichen Vertiefung 42 mit unregelmäßiger Grundfläche 40 und unregelmäßiger, völlig variabler Seitenfläche 41 dargestellt. Eine derartige Vertiefung wird beispielsweise beim Ätzen ohne Maske generiert.

Fig. 8 visualisiert den kumulativen Aufbau der Punktstruktur aus einer Überlagerung mehrerer Interferenzpixel (10, 11, 12, 13). Jedes Interferenzpixel (10, 11, 12, 13) besteht aus mehreren mittels Laserinterferenzstrukturierung in das Substrat eingebrachten inversen Zapfen (14).

In Teilbild (A) ist das erste Interferenzpixel (10) gezeigt, welches mehrere inverse Zapfen (14, 14.1) aufweist. Teilbild (B) visualisiert eine Überlagerung aus dem ersten Interferenzpixel (10) und dem zweiten Interferenzpixel (11), wobei diese Überlagerung aus inversen Zapfen (14.1) des ersten Interferenzpixels (10) und aus inversen Zapfen (14.2) des zweiten Interferenzpixels (11) besteht.

Dabei besteht ein Versatz (15) zwischen dem ersten Interferenzpixel (10) und dem zweiten Interferenzpixel (11), wodurch die inversen Zapfen (14.2) des zweiten Interferenzpixels (11) um diesen Versatz (15) gegenüber den inversen Zapfen (14.1) des ersten Interferenzpixels (10) verschoben sind.

Teilfigur © visualisiert eine Überlagerung, bei der zusätzlich ein drittes Interferenzpixel (12) mit den ersten beiden Interferenzpixeln (10, 11) überlagert ist. Die überlagerte Struktur in Teilbild © weist somit inverse Zapfen (14.1) des ersten Interferenzpixels (10), inverse Zapfen (14.2) des zweiten Interferenzpixels (11) sowie inverse Zapfen (14.3) des dritten Interferenzpixels (12) auf. Das dritte Interferenzpixel (12) ist in diesem Ausführungsbeispiel zum zweiten Interferenzpixel (11) in derselben Raumrichtung entlang der x-Achse verschoben, wie das zweite Interferenzpixel (11) zum ersten Interferenzpixel (10).

Teilbild (D) zeigt eine Überlagerung, bei der weiterhin ein viertes Interferenzpixel (13) überlagert ist, wobei dies gegenüber dem dritten Interferenzpixel (12) in einer anderen Raumrichtung entlang der y-Achse verschoben ist. Somit weist der Ausschnitt in Teilbild (D) eine Punktstruktur aus einer Überlagerung aus vier Interferenzpixeln (10, 11, 12, 13) auf.

Die Graphen, welche unterhalb der Interferenzpixel (10, 11, 12, 13) angeordnet sind, dienen der Visualisierung der periodischen Strukturen innerhalb eines Interferenzpixels (10, 11, 12, 13). Aufgrund der Entstehung der Interferenzpixel (10, 11, 12, 13) über den Prozess der Laserinterferenzstrukturierung, also entsprechend des Interferenzbildes der Laser(strahlen), weist jedes einzelne Interferenzpixel (10, 11, 12, 13), welches innerhalb eines Beleuchtungs- oder Bestrahlungsprozesses innerhalb einer ausgewählten Pulsdauer entstanden ist, eine periodische Anordnung der inversen Zapfen (14) auf. Der Abstand der inversen Zapfen (14.1) des ersten Interferenzpixels (10), der aus dem Abstand der Intensitätsmaxima des das erste Interferenzpixel (10) erzeugenden Interferenzbildes resultiert, stellt die Interferenzperiode (p_1) dar. Die Intensität entspricht dabei der zur Erzeugung der inversen Zapfen (14.1) notwendigen Intensität im Interferenzmuster der Laser(strahlen). Somit entspricht der Abstand der Intensitätsmaxima des Interferenzbildes der Interferenzperiode (p_1). Das zweite Interferenzpixel (11) weist dabei eine zweite Interferenzperiode (p_2) auf.

Fig. 9 zeigt eine Punktstruktur (16), welche aus der Überlagerung von mehreren ersten Interferenzpixeln (10) mit einer ersten Interferenzperiode (p_1) und mehreren zweiten Interferenzpixeln (11) mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) gebildet ist. Die ersten Interferenzpixel (10) weisen dabei inverse Zapfen (14.1) auf, welche hier mit einer vertikalen Musterfüllung dargestellt sind. Die zweiten Interferenzpixel (11) weisen inverse Zapfen (14.2) auf, welche mit einer horizontalen Musterfüllung dargestellt sind. Die Interferenzperiode (p_1) des ersten Interferenzpixels (10) ist kleiner als die zweite Interferenzperiode (p_2) des zweiten Interferenzpixels (11).

In einer optionalen Einstellung der Interferenzpixel (10, 11) derart, dass die Anzahl der inversen Zapfen (14.1, 14.2) innerhalb der Interferenzpixel (10, 11) identisch ist, variiert folglich die Fläche der Interferenzpixel (10, 11), was hier durch die Kreise visualisiert ist. Eines der ersten Interferenzpixel (10) ist hier durch sämtliche inverse Zapfen (14.1) mit vertikaler Musterfüllung innerhalb des kleineren Kreises schematisch dargestellt. Eines der zweiten Interferenzpixel ist wiederum durch die inversen Zapfen (14.2), die mit einer horizontalen Musterstrukturierung dargestellt sind, innerhalb des größeren Kreises visualisiert.

Dabei sind die mehreren ersten Interferenzpixel (10) benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnet und die mehreren ersten Interferenzpixel (10) bilden dadurch ein Muster mit der Interferenzperiode (p_1). Weiterhin sind die mehreren der zweiten Interferenzpixel (11) benachbart repetitiv versetzt zueinander angeordnet und die mehreren der zweiten

Interferenzpixel (11) bilden somit ein Muster mit der sich von der ersten Interferenzperiode (p₁) unterscheidenden zweiten Interferenzperiode (p₂).

LU103058

Der unterhalb der Punktstruktur (16) angeordnete Graph visualisiert die Anordnung der inversen Zapfen (14.1, 14.2) entlang einer Linie durch die Punktstruktur (16). Die Maxima der Intensität entsprechen dabei dem Mittelpunkt der inversen Zapfen (14.1, 14.2). Wie in Fig. 8 dient dieser Graph der Darstellung des Prinzips. Die Intensität entspricht dabei dem zur Erzeugung der inversen Zapfen (14.1, 14.2) notwendigen Intensität im Interferenzmuster der Laser(strahl)strahlen.

Fig. 10 visualisiert in einem ersten Ausführungsbeispiel die erfindungsgemäße Vorrichtung, umfassend eine Laserstrahlungsquelle (1) zum Emittieren eines Laserstrahls. Im Strahlengang (3) des Laserstrahls hinter der Laserstrahlungsquelle (1) angeordnet, befindet sich ein Strahlteilerelement (2), welches im Strahlengang (3) beweglich angeordnet ist. Im Strahlengang (3) des Laserstrahls hinter dem Strahlteilerelement (2) angeordnet, befindet sich ein Fokussierelement (4). Im Strahlengang (3) des Laserstrahls hinter dem Fokussierelement (4) angeordnet, befindet sich eine Haltevorrichtung, auf der ein Substrat (5), bevorzugt flächiges und/oder transparentes Substrat, gelagert ist.

In dieser Ausgestaltung emittiert die Laserstrahlungsquelle (1) einen gepulsten Laserstrahl.

Es handelt sich hier bei der Laserstrahlungsquelle um einen UV Laser mit einer Wellenlänge von 355 nm Wellenlänge und einer Pulsdauer von 12 ps. Das Strahlungsprofil der Laserstrahlungsquelle entspricht in dieser Ausführungsform einem Top-Hat-Profil.

In diesem Ausführungsbeispiel entspricht das Strahlteilerelement (2) einem diffraktiven Strahlteilerelement. Ein diffraktives Strahlteilerelement ist hier ein Strahlteilerelement, welches Mikro- oder Nanostrukturen enthält. Das Strahlteilerelement (2) unterteilt den Laserstrahl in 4 Teilstrahlen.

Das Fokussierelement (4) entspricht in diesem Ausführungsbeispiel einer refraktiven, sphärischen Linse, die die im Wesentlichen parallel zueinander verlaufenden Teilstrahlen so auf das Substrat (5), bevorzugt flächige und/oder transparente Substrat, lenkt, dass sie dort in einem Interferenzbereich interferieren. Der Interferenzwinkel entspricht in dieser Ausgestaltung 27,2°, woraus eine Interferenzperiode von 550 nm für die periodische Punktstruktur bei dem gleichen Polarisationszustand resultiert.

Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird das flächige Substrat einmal bestrahlt, sodass sich eine Bearbeitungsdauer pro Struktureinheit, d. h. pro Interferenzpixel, von 12 ps ergibt.

Bei dem Substrat (5), bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrat, handelt es sich um ein Glas, ganz speziell ein Quarzglas, welches auf einer Haltevorrichtung gelagert ist, sodass es in der xy-Ebene, senkrecht zum Strahlengang des von der Laserstrahlungsquelle (1) emittierten Laserstrahls beweglich ist.

5

Fig. 11 visualisiert in einem weiteren Ausführungsbeispiel die Vorrichtung wie in Fig. 10 beschrieben, zusätzlich umfassend ein Umlenkelement (6), welches sich im Strahlengang (3) des Lasers nach dem Strahlteilerelement (2) und dem Fokussierelement (4) befindet.

In dieser Ausgestaltung ist das Umlenkelement eine konventionelle, refraktive, konvexe Linse. Die Teilstrahlen treffen derart auf das Umlenkelement (6) auf, dass sie nach Durchlaufen des Umlenkelements im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen. Dadurch lässt sich der Punkt, in dem die Teilstrahlen auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats interferieren, einstellen.

15 **Fig. 12** visualisiert in einem weiteren Ausführungsbeispiel eine Vorrichtung basierend auf dem in Fig. 10 und Fig. 11 gezeigten Aufbau. Zusätzlich umfasst dieser Aufbau ein weiteres Umlenkelement (7), welches im Strahlengang (3) des Lasers zwischen dem Strahlteilerelement (2) und dem Umlenkelement (6) angeordnet ist.

In dieser Ausgestaltung ist das weitere Umlenkelement (7) eine konventionelle, refraktive, konkave Linse. Die Teilstrahlen treffen derart auf das weitere Umlenkelement auf, sodass ihr Winkel zur optischen Achse des Strahlengangs aufgeweitet wird. Dadurch lässt sich der Interferenzwinkel, mit dem die Teilstrahlen auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, interferieren, verändern.

20 In dieser Ausgestaltung sind alle optischen Elemente abgesehen vom Strahlteilerelement (2) entlang der optischen Achse des Strahlengangs (3) fixiert. Der Interferenzwinkel der Teilstrahlen auf dem Substrat wird über eine Verschiebung des Strahlteilerelements (2) entlang der optischen Achse des Strahlengangs eingestellt.

25 **Fig. 13A** zeigt in einem weiteren Ausführungsbeispiel eine Vorrichtung wie in Fig. 12, umfassend die optischen Elemente (6) mit einer planaren, reflektierenden Oberfläche, die derart eingerichtet sind, dass sie die Teilstrahlen auf das Fokussierelement (4) umlenken.

In dieser Ausgestaltung werden die zumindest drei Teilstrahlen durch Verschiebung der optischen Elemente (6) in einem bevorzugten Winkel auf das Substrat gelenkt. Dadurch

kann auf ein Umlenkelement in Form einer Linse (Bezugszeichen (6) in Fig. 12) verzichtet werden.

5 **Fig. 13 B** zeigt eine schematische perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die als optisches Element zur Strahlformung einen Galvo-Spiegel (9) umfasst, was eine orts feste Positionierung des zu strukturierenden Substrats 5 während des Prozesses der Strukturierung erlaubt.

10 **Fig. 14** visualisiert in einem weiteren Ausführungsbeispiel eine Vorrichtung wie in Fig. 10, zusätzlich umfassend je ein Polarisations element (8) pro Teilstrahl, welche im Strahlengang (3) des Laserstrahls zwischen dem Umlenkelement (6) und dem Fokussierelement (4) angeordnet sind.

Das Polarisations element ist derart angeordnet, dass es die Polarisierung der einzelnen Teilstrahlen zueinander so verändert, dass sich eine Veränderung des Interferenzmusters
15 ergibt.

Diese Ausgestaltung ist in zwei unterschiedlichen Konfigurationen dargestellt. In **Fig. 14A** ist das Strahlteiler element (2) im Strahlengang (3) nah an der Laserstrahlungsquelle (1) positioniert. In **Fig. 14 B** ist das Strahlteiler element (2) im Strahlengang (3) nah am Umlenkelement (7) positioniert. Auf diese Weise lässt sich das Interferenzmuster der
20 interferierenden Teilstrahlen auf der Oberfläche des Substrats (5) stufenlos einstellen, ohne dass die anderen optischen Elemente im Aufbau oder das Substrat bewegt werden müssen.

Zusätzlich wäre es auch denkbar, dass die Anordnung ein zusätzliches optisches Element zur Strahlformung enthält, das im Strahlengang (3) des Laserstrahls der Laserstrahlungsquelle (1) nachgeordnet ist. In dieser Ausgestaltung entspricht das
25 Strahlungsprofil der Laserstrahlungsquelle einem Gauß-Profil. Das optische Element zur Strahlformung wandelt dieses Profil in ein Top-Hat-Profil um.

Fig. 15 enthält eine schematische Ansicht der sich auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats ergebenden Interferenzpixel mit der Weite D , und die Verteilung der einzelnen
30 Interferenzpixel auf der Oberfläche oder im Inneren des Substrats, wobei die Interferenzpixel zueinander verschoben sind mit der Pixeldichte P_d .

In dieser Ausgestaltung ist die Pixeldichte P_d kleiner als die Weite eines Interferenzpixels, D . Dadurch kann durch Bewegen des Substrats (5) mittels eines gepulsten Laserstrahls eine

flächige homogene periodische Punktstruktur auf der Oberfläche oder im Inneren eines Substrats, bevorzugt flächigen und/oder transparenten Substrats, erzeugt werden.

Vorzugsweise werden die nacheinander aufgetragenen Interferenzpixel nebeneinander angeordnet. In dieser Ausgestaltung existiert ein Überlapp zwischen zwei nebeneinander angeordneten Interferenzpixeln. Aufgrund der Mehrfachbestrahlung werden so bevorzugt Selbstorganisationsprozesse innerhalb des strukturierten Bereiches, also innerhalb der inversen Zapfen 14, angeregt. Dadurch kann effizient eine hierarchische Struktur erzeugt werden.

Fig. 16 visualisiert das durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugte strukturierte Substrat (5) mit den erzeugten periodischen Punktstrukturen, bestehend aus inversen Zapfen, mit Abmessungen im Mikro- und Submikrometerbereich. Es wird zudem symbolisch die Transmission von einfallenden elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen größer als die Interferenzperiode der erzeugten Strukturen, sowie die Beugung von einfallenden elektromagnetischen Wellen mit Wellenlängen im Bereich oder kleiner der erzeugten Strukturen verdeutlicht.

Fig. 17 zeigt in einem weiteren Ausführungsbeispiel eine Vorrichtung wie in Fig. 13B, umfassend das optische Element (91) mit einer planaren, reflektierenden Oberfläche, wobei es sich um ein Polygonrad handelt, welches derart eingerichtet ist, dass es um eine eingezeichnete Achse rotiert. Dabei werden die einfallenden Teilstrahlen derart abgelenkt, dass sie auf einen Galvospiegel (9) treffen, welcher die Strahlen über ein Fokussierelement (4) auf das Substrat lenkt. Die Rotation des Polygonrads bewirkt dabei, dass der Punkt, in dem die Strahlen auf dem Substrat gebündelt werden während des Belichtungsprozesses entlang einer Linie beweglich ist. Die Teilstrahlen scannen also das Substrat, was zu einer erhöhten Prozessgeschwindigkeit führt.

Fig. 18 zeigt in einer grafischen Darstellung die Transmissions- bzw. Beugungsfähigkeit von einem strukturierten Substrat abhängig von der Strukturweite auf. Dabei wird der Diffraktionswinkel von Licht in Abhängigkeit von dessen Wellenlänge für Strukturen mit drei unterschiedlichen Strukturweiten gezeigt. Ist die Wellenlänge des einfallenden Lichts größer als die Strukturweite, so wird das Licht vollständig transmittiert. Bei Wellenlängen im Bereich der Strukturweite oder kleiner kommt es zur Diffraction. Die Diffraktionswinkel können aus der Grafik entnommen werden.

Fig. 19 visualisiert das durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugte strukturierte Substrat (5) mit den erzeugten periodischen Punktstrukturen, bestehend aus inversen Zapfen, mit Abmessungen im Mikrometerbereich. Dieser periodischen Punktstruktur im Mikrometerbereich überlagert ist eine periodische Wellenstruktur im Submikrometerbereich, welche ebenfalls durch das hierin beschriebene erfindungsgemäße Verfahren in einem Produktionsschritt erzeugbar ist.

Fig. 20A visualisiert eine quasi-periodische Wellenstruktur (19) in einer Draufsicht und **Fig. 20B** in einer Schnittansicht, wie sie ein strukturiertes Substrat aufweist, welches durch ein hierin offenbartes Verfahren, insbesondere durch eine Mehrfachbestrahlung oder durch eine Einfachbestrahlung mit hoher Intensität, erzeugt werden kann. Dabei stellt die Schnittansicht der Fig. 11B einen Querschnitt durch die in Fig. 11A dargestellte Struktur etwa entlang der Schnittlinie A-A dar. In den Materialien auftretende Selbstorganisationsprozesse führen dazu, dass wellenförmige Strukturen mit Wellenbergen (20) und Wellentälern (21) innerhalb eines derart bestrahlten Bereiches entstehen. Die entstehenden Strukturen weisen dabei grundsätzlich eine gewisse Periodizität auf, wobei allerdings auch Defekte (22), also Unregelmäßigkeiten, auftreten. Somit weist eine derartige Struktur im Gegensatz zu einer echt periodischen Struktur sowohl Abweichungen in den Strukturabmessungen, insbesondere bei den Abständen der Wellenberge zu den Wellentälern, als auch Defekte auf, sodass die erzeugte Wellenstruktur nicht homogen ausfällt.

Eine schematische Schnittdarstellung eines strukturierten Substrats 5 ist in **Fig. 21** zur Visualisierung der Reduktion der Reflektion aufgrund des Falleneffektes gezeigt. Dabei ist nach obenweisend eine Deckschicht 35 dargestellt. Unterhalb der Deckschicht 35 ist eine Grundsicht 37 gezeigt.

Es sind an dem Substrat inverse Zapfen 14 angeordnet, wobei die Schnittdarstellung gerade in einer Reihe inverser Zapfen 14 liegt. Auf die inversen Zapfen 14 auftreffendes Licht 44 trifft dabei zum Teil auch auf einen innerhalb eines inversen Zapfens 14 angeordneten Grenzflächenpunkt 45. Dabei wird ein Teil des Lichtes 44 an diesem Grenzflächenpunkt 45 bereits durch die Grenzfläche in das innere der Deckschicht 35 transmittiert. Ein weiterer Anteil des Lichtes 44 wird jedoch reflektiert und trifft auf einen weiteren innerhalb eines inversen Zapfens 14 angeordneten Grenzflächenpunkt 45. Auch dort wird ein Anteil des Lichtes 44 durch die Grenzfläche zwischen Luft und Deckschicht transmittiert und ein wiederum geringerer Teil reflektiert. Auch dieser reflektierte Teil gelangt in dieser Darstellung auf einen weiteren Grenzflächenpunkt 45, wo wiederum ein Teil des Lichtes 44 transmittiert

wird. Dadurch kann die Gesamtmenge des durch die Grenzfläche transmittierten Lichtes 44.1 gegenüber einer Oberfläche ohne inverse Zapfen 14 deutlich erhöht werden.

LU103058

 white ip
patent & legal PatGmbH

BEZUGSZEICHENLISTE

LU103058

- | | | |
|----|----------------|--|
| | 1 | Laserstrahlungsquelle |
| | 2 | Strahlteilererelement |
| 5 | 3 | Strahlengang, Laserstrahl |
| | 4 | Fokussierelement |
| | 5 | Substrat |
| | 6 | weiteres Umlenkelement |
| | 7 | Umlenkelement |
| 10 | 8 | Polarisationselement |
| | 9 | Fokussierspiegel bzw. Galvo-Spiegel |
| | 91 | Polygonrad |
| | 10 | erstes Interferenzpixel |
| | 11 | zweites Interferenzpixel |
| 15 | 12 | drittes Interferenzpixel |
| | 13 | viertes Interferenzpixel |
| | 14 | inverse Zapfen |
| | 14.1 | inverse Zapfen des ersten Interferenzpixels |
| | 14.2 | inverse Zapfen des zweiten Interferenzpixels |
| 20 | 14.3 | inverse Zapfen des dritten Interferenzpixels |
| | 14.4 | inverse Zapfen des vierten Interferenzpixels |
| | 15 | Versatz |
| | 16 | Punktstruktur |
| | p ₁ | erste Interferenzperiode |
| 25 | p ₂ | zweite Interferenzperiode |
| | 19 | quasiperiodische Wellenstruktur |
| | 20 | Wellenberg |
| | 21 | Wellental |
| | 22 | Defekt |
| 30 | 23 | Wasserkontaktwinkel |
| | 24 | Wassertropfen |
| | 25 | Gasphase |
| | 26 | Tangente |
| | A-A | Schnittlinie |
| 35 | 28 | strukturiertes Bauteil |
| | 29 | unstrukturiertes Bauteil |
| | 30 | Oberflächenstrukturiertes Bauteil |

	31	Hilfsschicht
	32	Erste äußere Oberfläche
	33	Zweite äußere Oberfläche
	34	Oberflächenunebenheit
5	35	Deckschicht
	36	Rillenförmige Vertiefungen
	36A	Erste rillenförmige Vertiefungen
	36B	Zweite rillenförmige Vertiefungen
	37	Grundsicht
10	39	Mittellinie
	40	Grundfläche
	41	Seitenfläche
	42	Zapfenähnliche Vertiefung
	43	Zapfen
15	Dim1	erste Dimension
	Dim2	zweite Dimension
	Dim3	dritte Dimension
	Dim1A	erste Dimension einer ersten rillenförmigen Vertiefung
	Dim1B	erste Dimension einer zweiten rillenförmigen Vertiefung
20		
	D	Weite des Interferenzpixels
	Pd	Pixeldichte?
	D	Durchmesser
	b	Breite
25	x	Strukturtiefe

PATENTANSPRÜCHE

LU103058

white ip
patent & legal

1. **Oberflächenstrukturiertes Substrat (5),**

wobei das oberflächenstrukturierte Substrat (5) wenigstens eine erste äußere Oberfläche (32) mit einem Schwarzmarkierungsbereich aufweist,

wobei der Schwarzmarkierungsbereich durch einen strukturierten Bereich (28) und einen unstrukturierten Bereich (29) gebildet ist,

wobei der strukturierte Bereich (28) ein erstes Interferenzpixel (10) aufweist,

wobei das erste Interferenzpixel (10) aus einer ersten periodischen Struktur aus wenigstens drei Oberflächenunebenheiten (34) gebildet wird,

wobei der Abstand zweier benachbarter Oberflächenunebenheiten (34) eine erste Interferenzperiode (p_1) beträgt,

wobei die erste Interferenzperiode (p_1) im Bereich von 50 nm bis 200 μm , vorzugsweise von 5 μm bis 45 μm liegt,

und wobei der strukturierte Bereich (28) weiterhin **mehrere versetzt zueinander** angeordnete Interferenzpixel aus jeweils einer periodischen Struktur aus wenigstens drei Oberflächenunebenheiten (34) aufweist,

wobei wenigstens 50% der versetzt zueinander angeordneten Interferenzpixel einen Überlapp von wenigstens 95%, bevorzugt von wenigstens 97%, aufweisen.

2. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach Anspruch 1, wobei der Schwarzmarkierungsbereich mit einem Glanzfaktor von weniger als 10 ausgebildet ist.

3. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die erste äußere Oberfläche (32) als Bestandteil einer Deckschicht (35) ausgebildet ist und wobei die Deckschicht (35) an eine Grundsicht (37) angrenzend ausgebildet ist.

4. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach Anspruch 3, wobei die Grundsicht (37) ein transparentes Material, vorzugsweise Glas, aufweist oder aus einem transparenten Material, vorzugsweise Glas, gebildet ist.

5. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Material des oberflächenstrukturierten Substrats (5) und/oder der Deckschicht (35) wenigstens ein Metall, vorzugsweise Kupfer und/oder Aluminium, eine Legierung und/oder einen Halbleiter, vorzugsweise Silizium, aufweist, vorzugsweise daraus besteht.

5

6. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach Anspruch 5, wobei in dem strukturierten Bereich der Sauerstoffanteil im Bereich von zumindest 8 bis 40 Gew.-%, vorzugsweise im Bereich von zumindest 10 bis 30 Gew.-%, besonders bevorzugt im Bereich von zumindest 15 bis 30 Gew.-% liegt.

10

7. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Material des oberflächenstrukturierten Substrats (5) und/oder der Deckschicht (35) einen Schmelzpunkt von weniger als 1.400 °C, bevorzugt von weniger als 1.200 °C, besonders bevorzugt von weniger als 1.100 °C, aufweist.

15

8. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das erste Interferenzpixel (10) ein periodisches Gitter von zumindest drei Zapfen (43) oder inversen Zapfen (14) aufweist.

20

9. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das erste Interferenzpixel (10) eine erste periodische Linienstruktur aus wenigstens drei nebeneinander angeordneten, parallel zueinander verlaufenden, äquidistant angeordneten rillenförmigen Vertiefungen (36) oder rillenförmigen Erhöhungen ausgebildet ist.

25

10. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der strukturierte Bereich (28) weiterhin eine zweite periodische Struktur mit einer zweiten Interferenzperiode (p_2) im Mikro- oder Submikrobereich aufweist, welche als periodische Punktstruktur oder als periodische Linienstruktur ausgebildet ist.

30

11. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Strukturtiefe der Oberflächenunebenheiten (34) des ersten Interferenzpixels (10) im Bereich von 0,3 μm bis 60 μm , vorzugsweise im Bereich von 0,5 μm bis 40 μm liegt.

12. Oberflächenstrukturiertes Substrat (5) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Oberflächenunebenheiten (34) Seitenflächen (41) mit einer glatten Oberfläche aufweisen.

5 13. **Verfahren** zur Herstellung eines oberflächenstrukturierten Substrats (5) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, aufweisend folgende Schritte:

- 10 a) Bereitstellen eines zu strukturierenden Substrates (5), wobei das zu strukturierende Substrat (5) eine Grenzfläche aufweist, wobei die Grenzfläche als direkte Kontaktfläche zwischen der zu strukturierenden Oberfläche des zu strukturierenden Substrats (5) und einem daran angrenzenden Medium ausgebildet ist, wobei das zu strukturierende Substrat (5) oder das daran angrenzende Medium ein Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von zumindest $20 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ aufweist,
- 15 b) Applizieren eines strukturierten Bereichs auf die zu strukturierende Oberfläche des zu strukturierenden Substrates (5), wodurch ein Schwarzmarkierungsbereich auf der zu strukturierenden Oberfläche erzeugt wird,
- wobei der strukturierte Bereich (28) zumindest ein erstes Interferenzpixel (10) mit einer ersten Interferenzperiode (p_1) aufweist,
- 20 wobei das erste Interferenzpixel (10) aus einer ersten periodischen Struktur aus wenigstens drei Oberflächenunebenheiten (34), gebildet wird,
- wobei der Abstand zweier benachbarter Oberflächenunebenheiten (34) eine erste Interferenzperiode (p_1) beträgt,
- wobei der strukturierte Bereich (28) ferner mehrere weitere versetzt zueinander angeordnete Interferenzpixel aufweist,
- 25 wobei
- der strukturierte Bereich (28) durch überlagertes Applizieren der ersten Interferenzpixel (10) auf einer Oberfläche oder im Volumen innerhalb der Grenzfläche des Substrates (5) gebildet wird,
- wobei die ersten Interferenzpixel (10) einen Überlapp von wenigstens 90%, bevorzugt
- 30 von wenigstens 95% aufweisen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das zu strukturierende Substrat (5) als eine Grundschicht (37) und das an das zu strukturierende Substrat (5) angrenzende Medium

als eine Hilfsschicht (31) mit einem Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von zumindest 20 W/(m·K) ausgebildet ist.

LU103058

white ip
patent & legal

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Hilfsschicht im Anschluss an Schritt b) von der Grundsicht (37) entfernt wird, wodurch eine an die Grundsicht (37) angrenzende Deckschicht (35) verbleibt.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, wobei die Grundsicht (37) ein transparentes Material, vorzugsweise Glas, aufweist oder aus einem transparenten Material, vorzugsweise Glas, gebildet ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei das Material mit einer Wärmeleitfähigkeit von zumindest 20 W/(m·K) wenigstens ein Metall, vorzugsweise Kupfer und/oder Aluminium, wenigstens eine Legierung oder wenigstens einen Halbleiter, vorzugsweise Silizium, aufweist oder daraus gebildet ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17, wobei die erste Interferenzperiode (p_1) im Bereich von 50 nm bis 200 μm , vorzugsweise von 1 μm bis 45 μm , ausgebildet wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, wobei das Applizieren gemäß Schritt b) mittels Laserinterferenzverfahren erfolgt, wobei vorzugsweise Teilstrahlen mittels eines Strahlteilerelementes (2) erzeugt werden und die Interferenzperiode (p) eines Interferenzpixels, vorzugsweise die erste Interferenzperiode (p_1) des ersten Interferenzpixels (10), mittels eines Verschiebens des Strahlteilerelementes (2) stufenlos eingestellt wird, wobei vorzugsweise die weiteren optischen Elemente in ihrer räumlichen Anordnung fixiert sind.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19, wobei die periodische Struktur zunächst mittels eines Laserinterferenzverfahrens auf einer Negativform erzeugt und mittels der Negativform auf die Oberfläche des zu strukturierenden Substrats (5) aufgebracht wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 20, wobei die periodische Struktur innerhalb eines Interferenzpixels durch Applizieren eines einzelnen Laserpulses mittels Einfachbestrahlung erzeugt wird. LU103058

5 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 21, wobei mittels einer Mehrfachbestrahlung eines Interferenzpixels mit identischen Verfahrensparametern eine hierarchische Struktur mit einer in den Vertiefungen angeordneten Punktstruktur und/oder Linienstruktur erzeugt wird.

10 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 22, wobei eine der ersten periodischen Struktur überlagerte, periodische Linien- und/ oder Punktstruktur mit variierten Verfahrensparametern erzeugt wird.

15 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 23, wobei die Laserpulsdauer im Bereich von 50 fs bis 100 ns, vorzugsweise im Bereich von 500 fs bis 50 ns, bevorzugt im Bereich von 800 fs - 20 ns, besonders bevorzugt im Bereich von 1 ps bis 10 ns liegt.

FIGUREN

LU103058

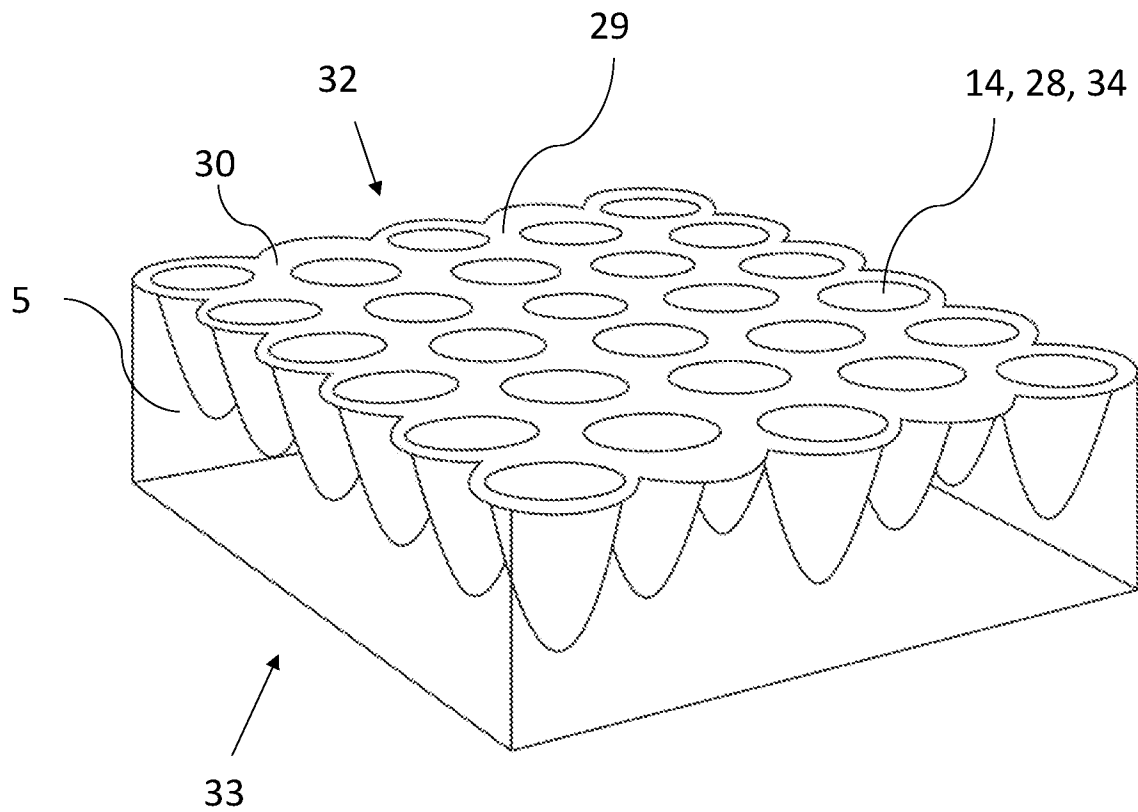


Fig. 1

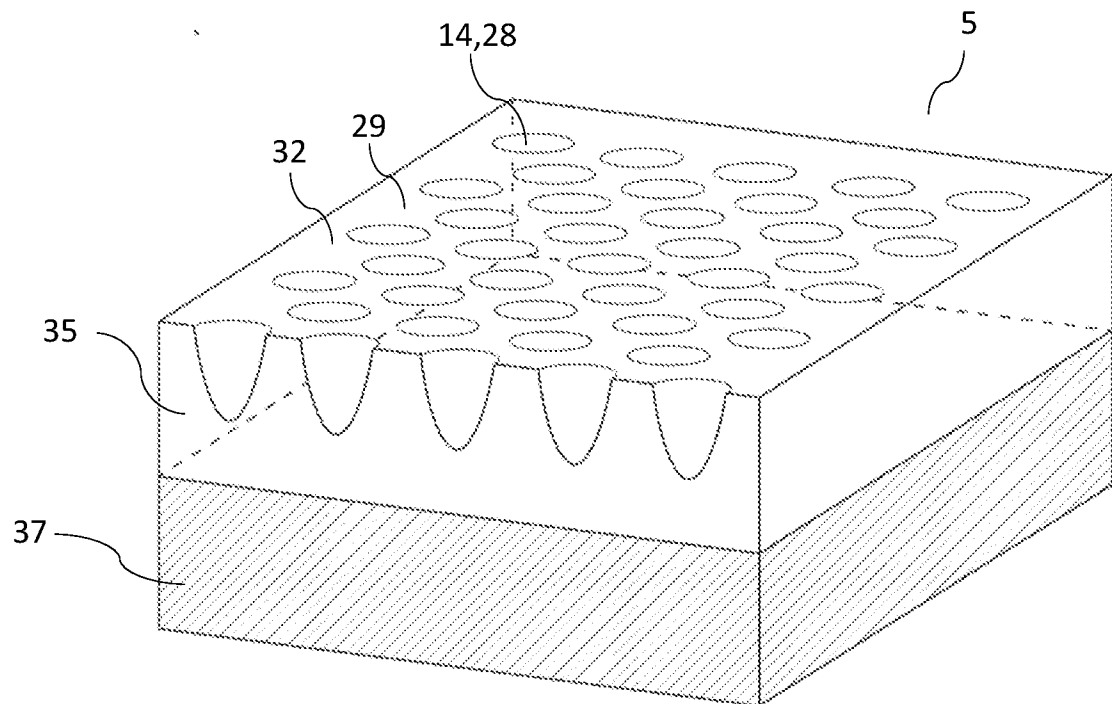


Fig. 2

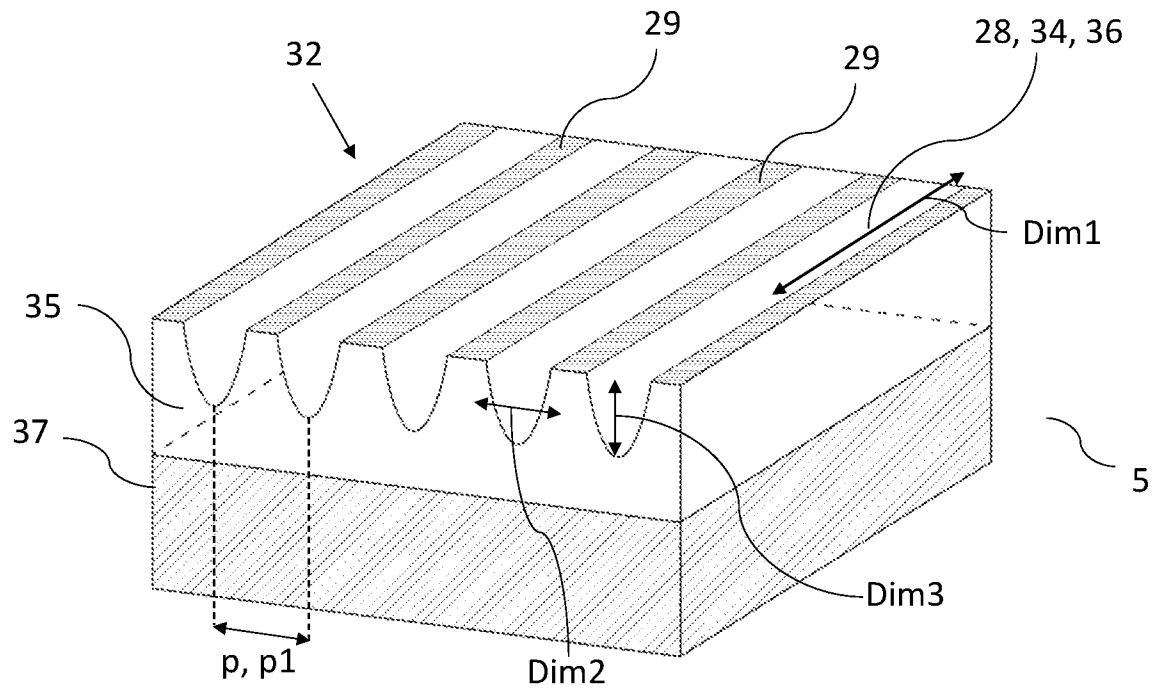


Fig. 3

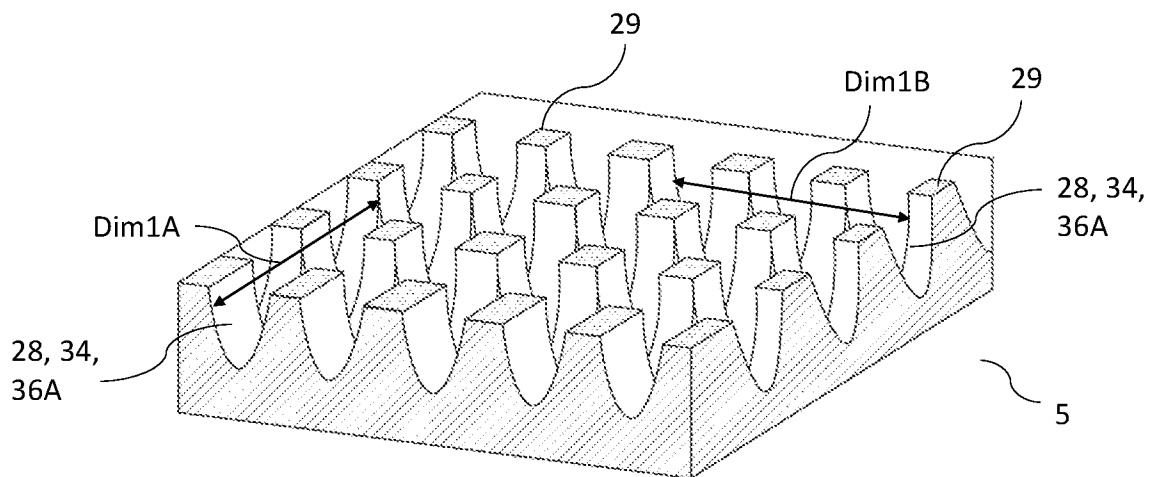
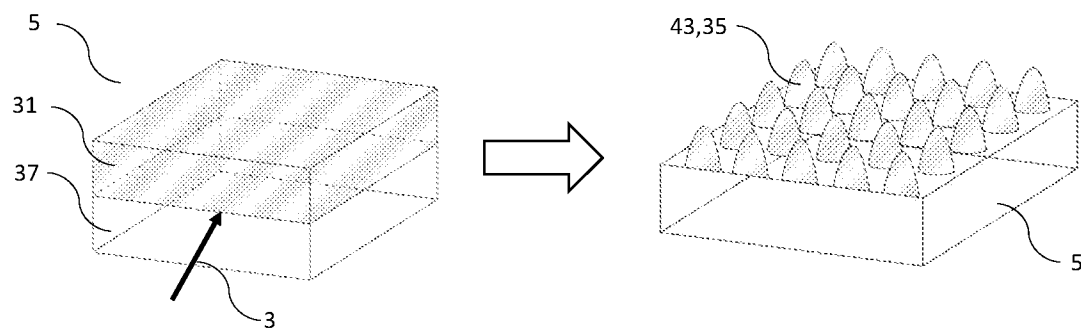
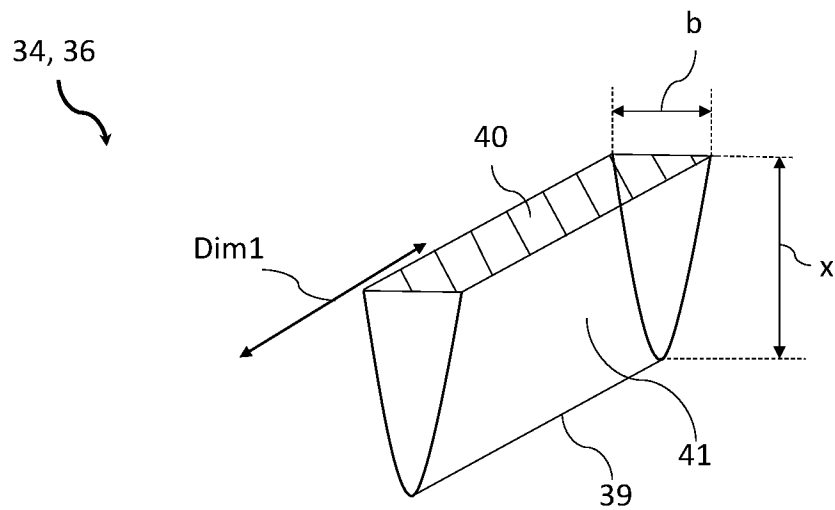
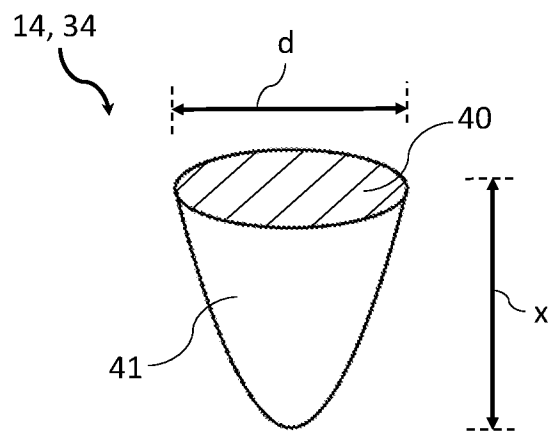
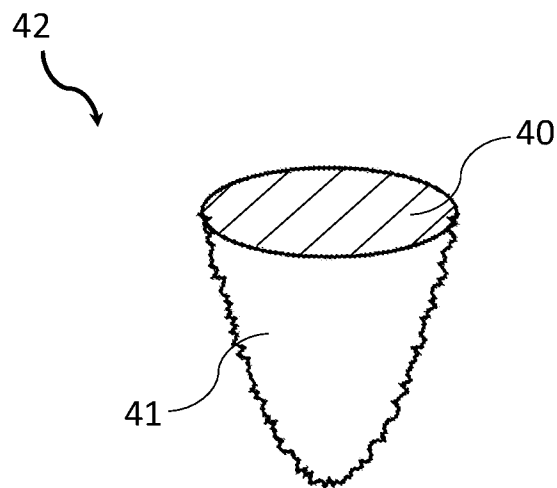
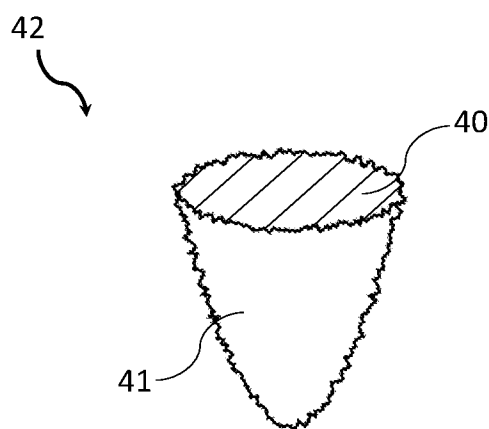


Fig. 4

**Fig. 5****Fig. 6**

**Fig. 7A****Fig. 7B****Fig. 7C**

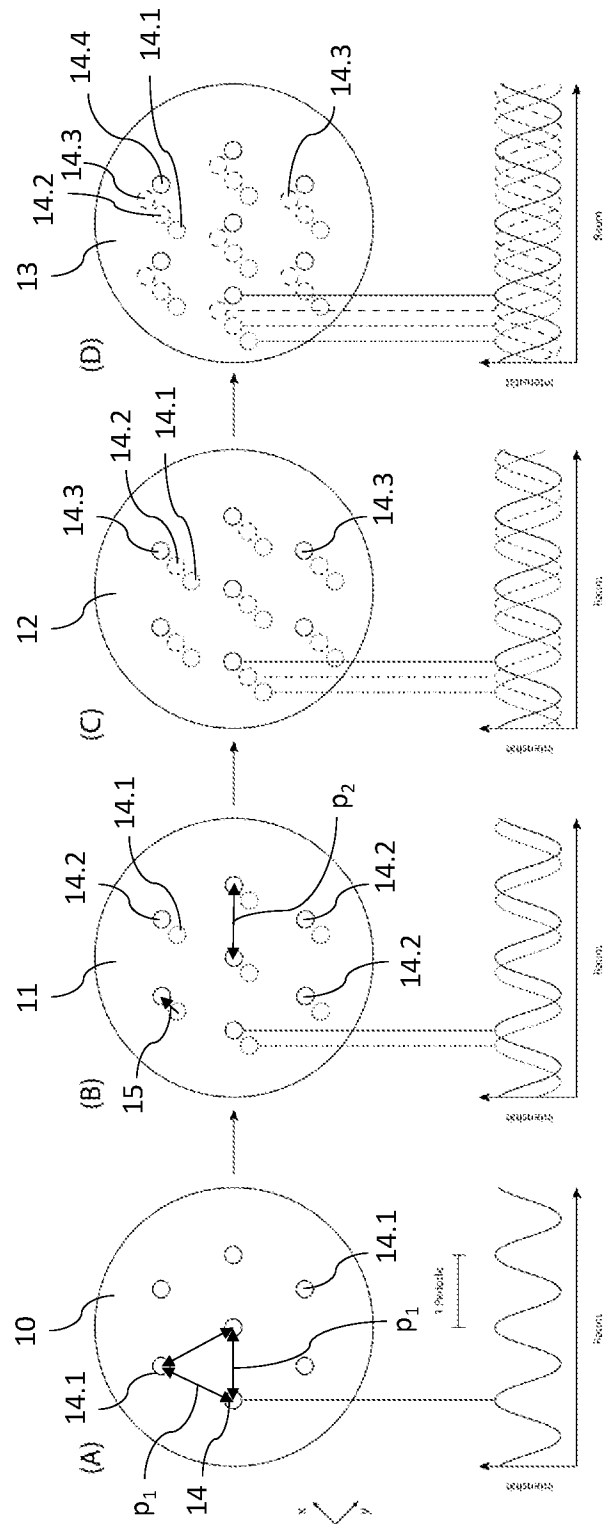


Fig. 8

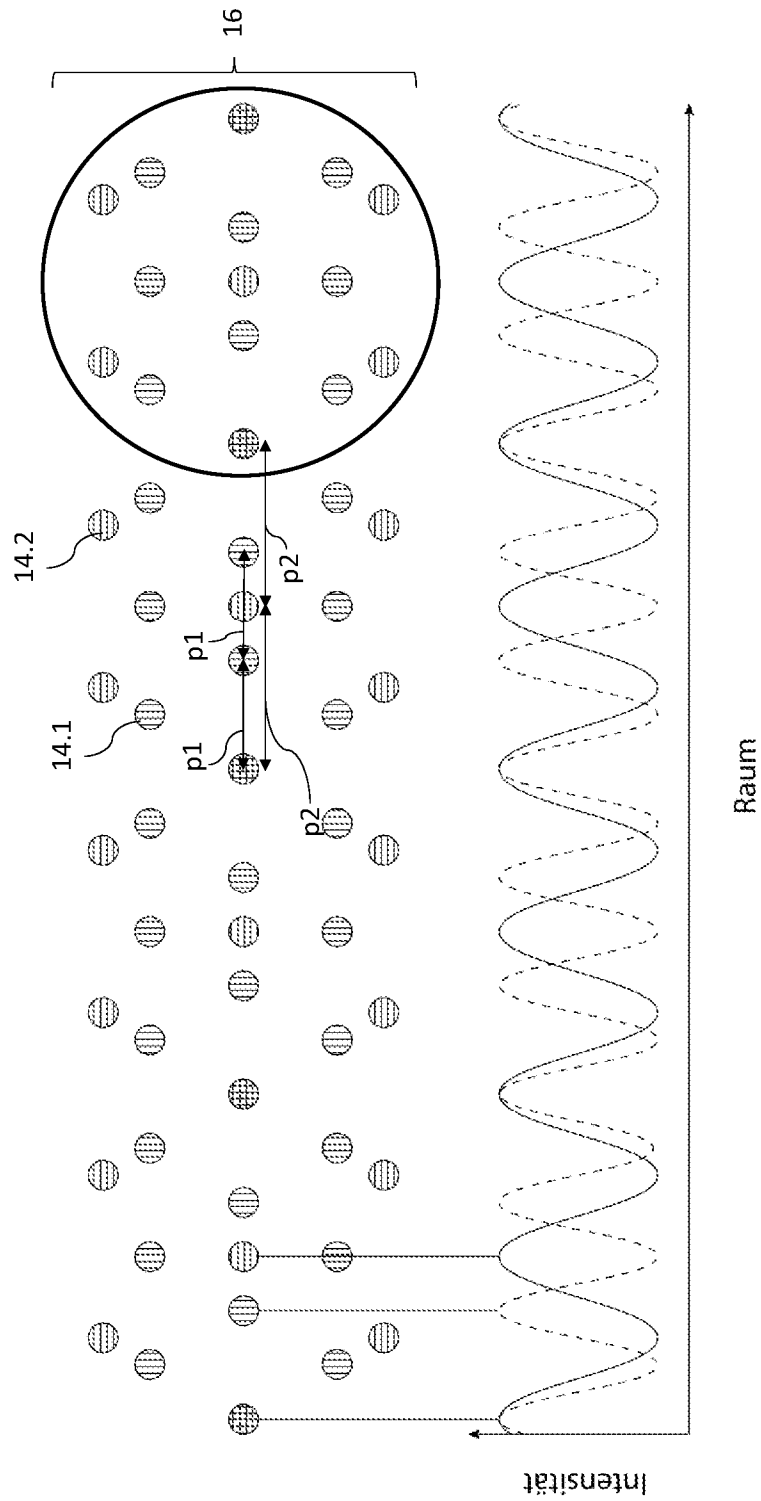
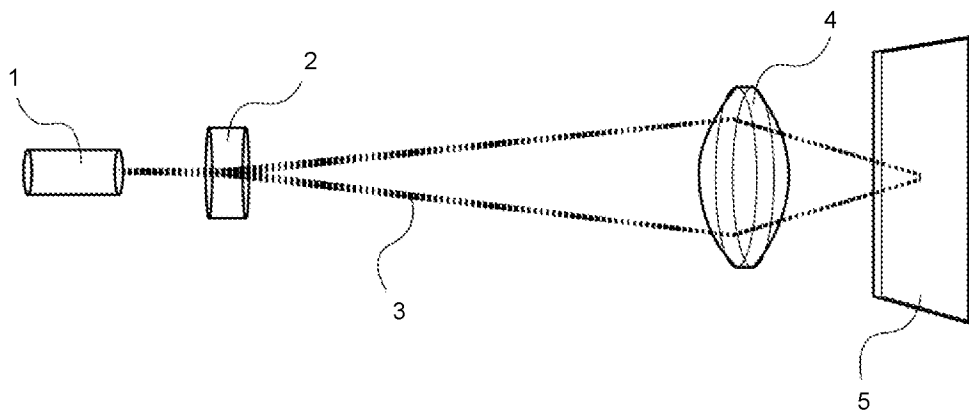
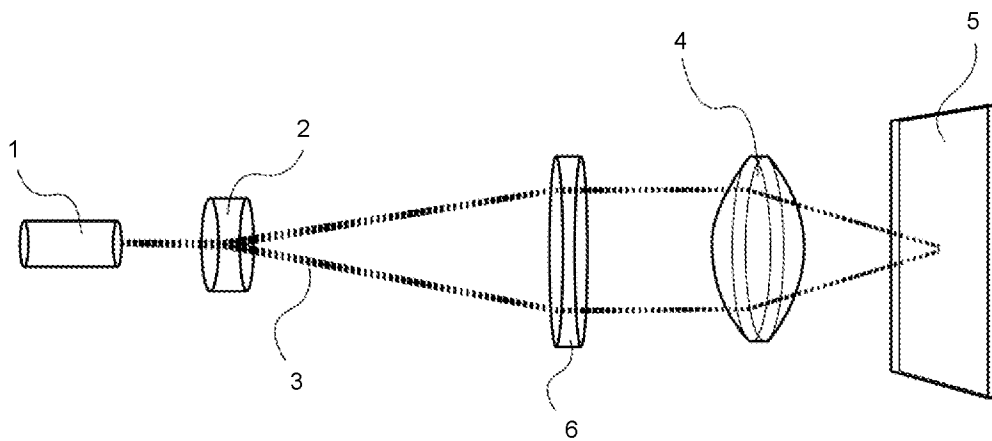
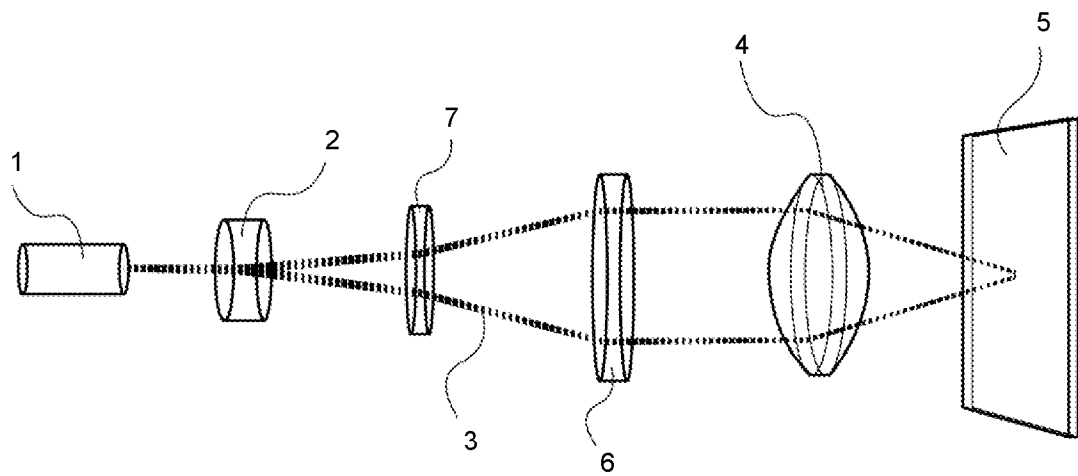


Fig. 9

**Fig. 10****Fig. 11**

**Fig. 12**

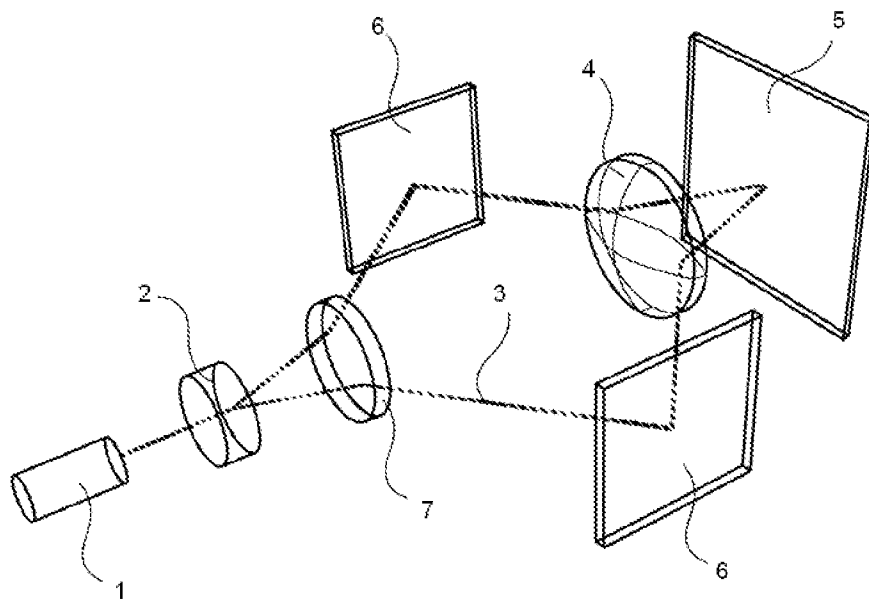


Fig. 13A

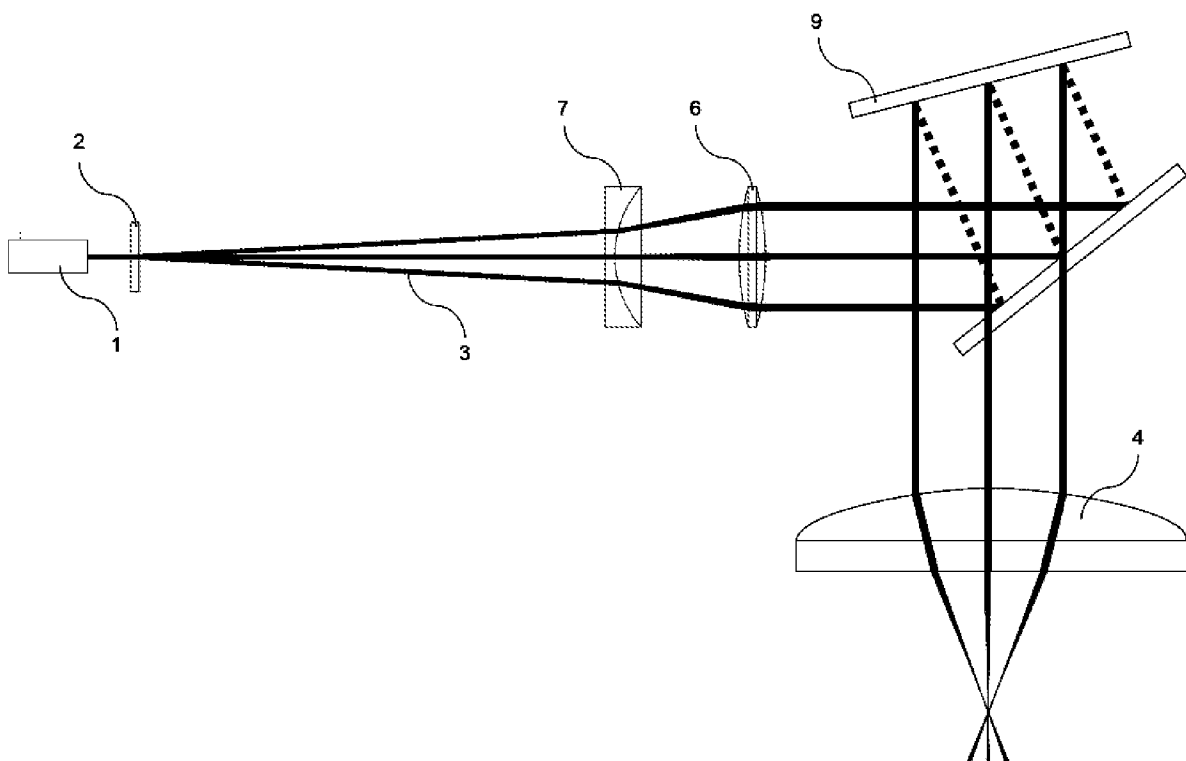


Fig. 13B

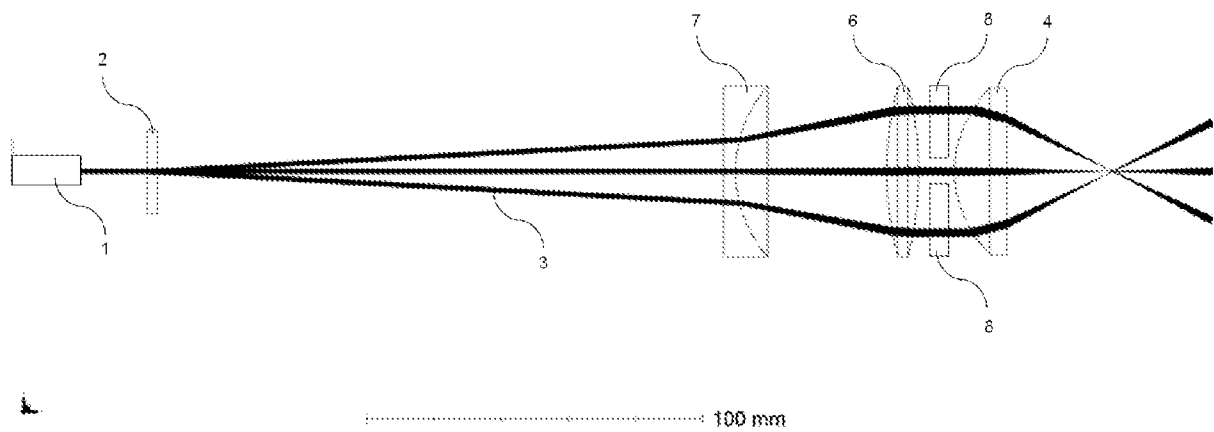


Fig. 14A

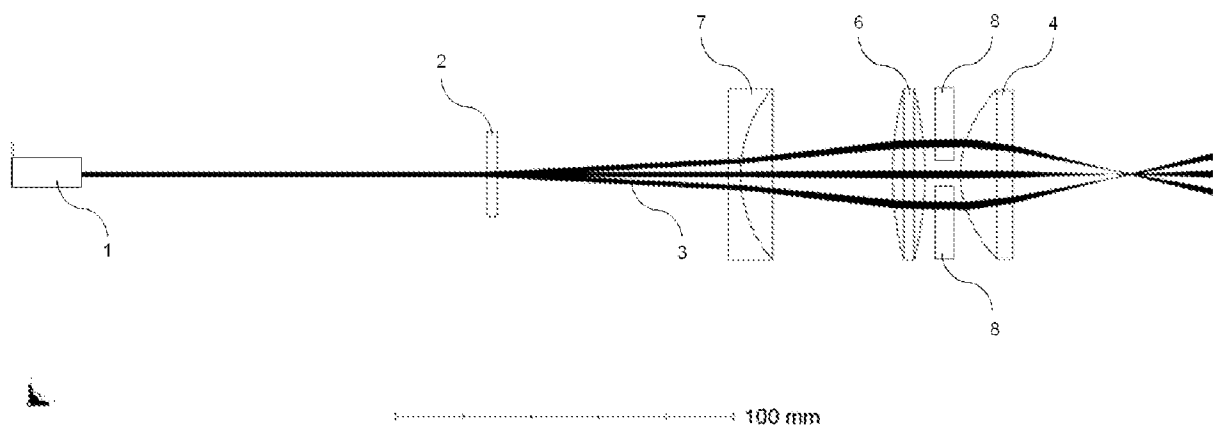


Fig. 14B

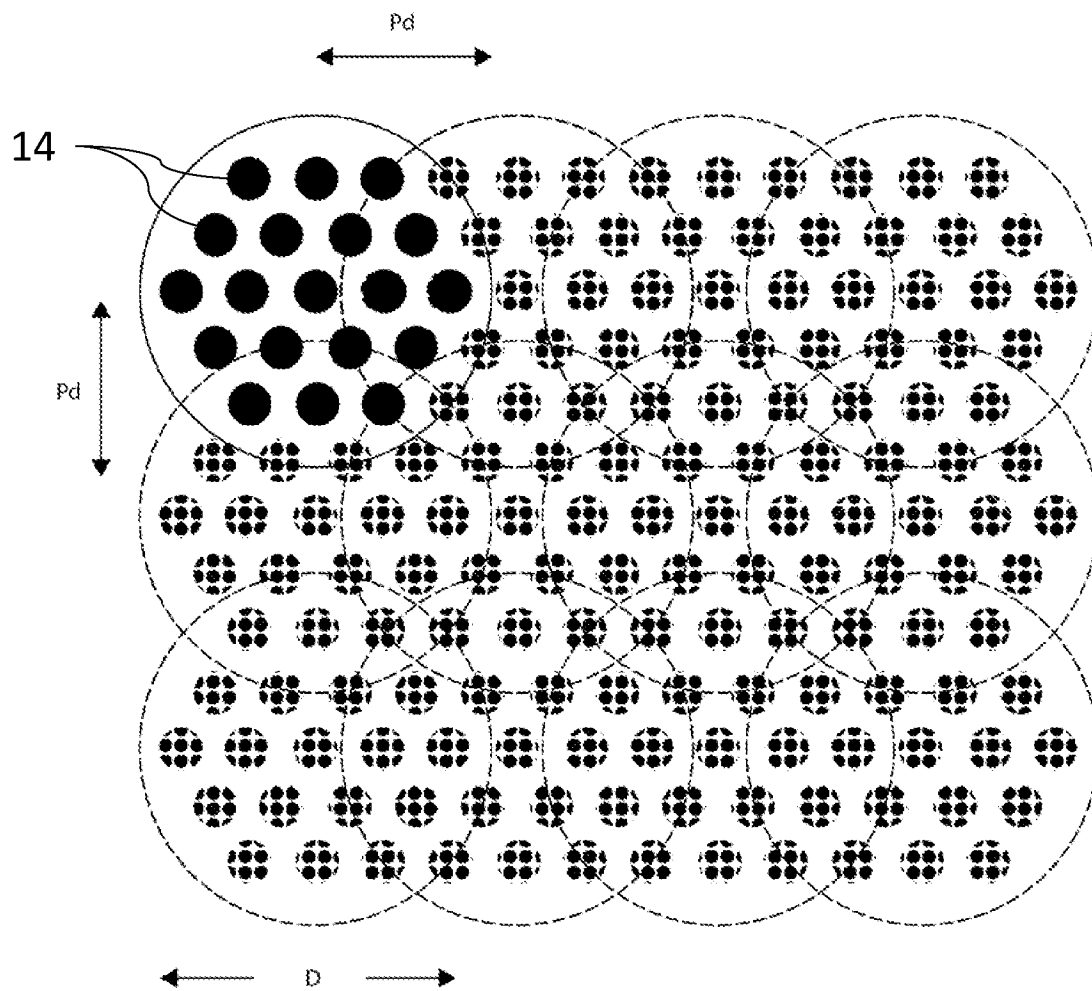


Fig. 15

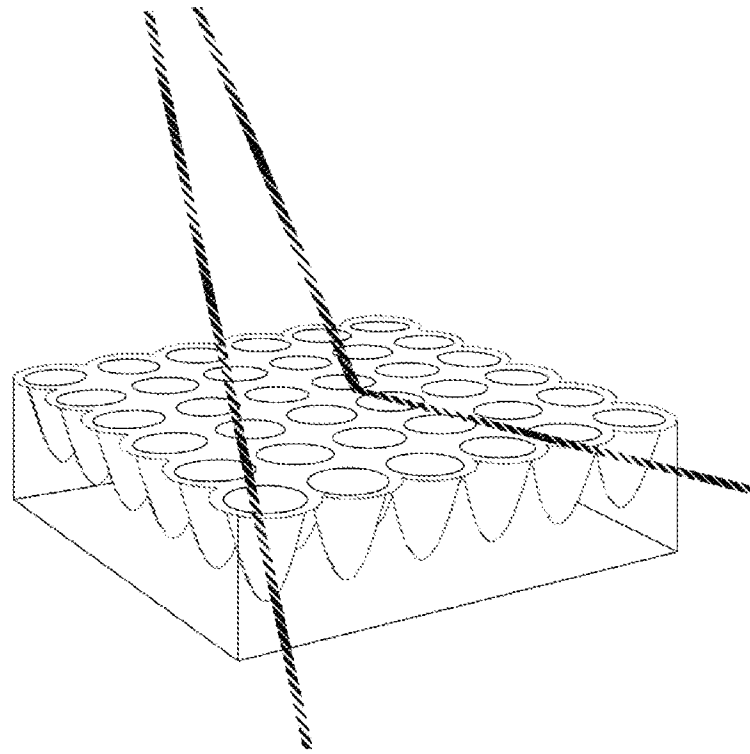


Fig. 16

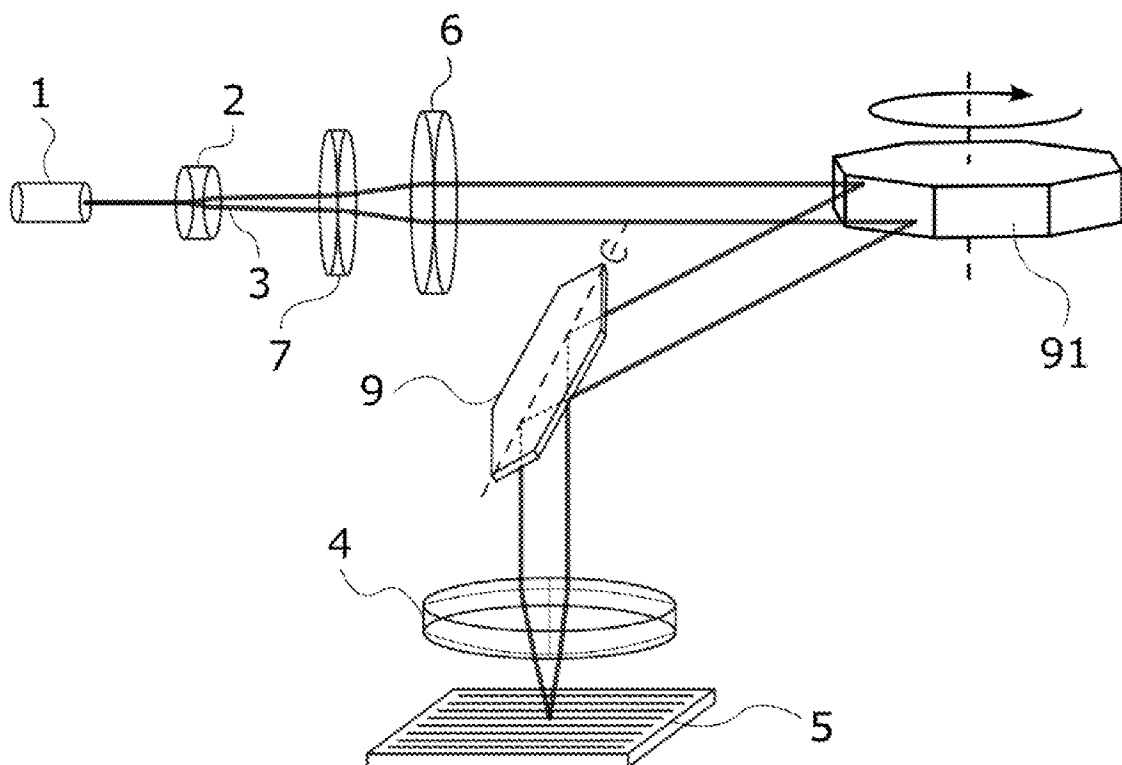
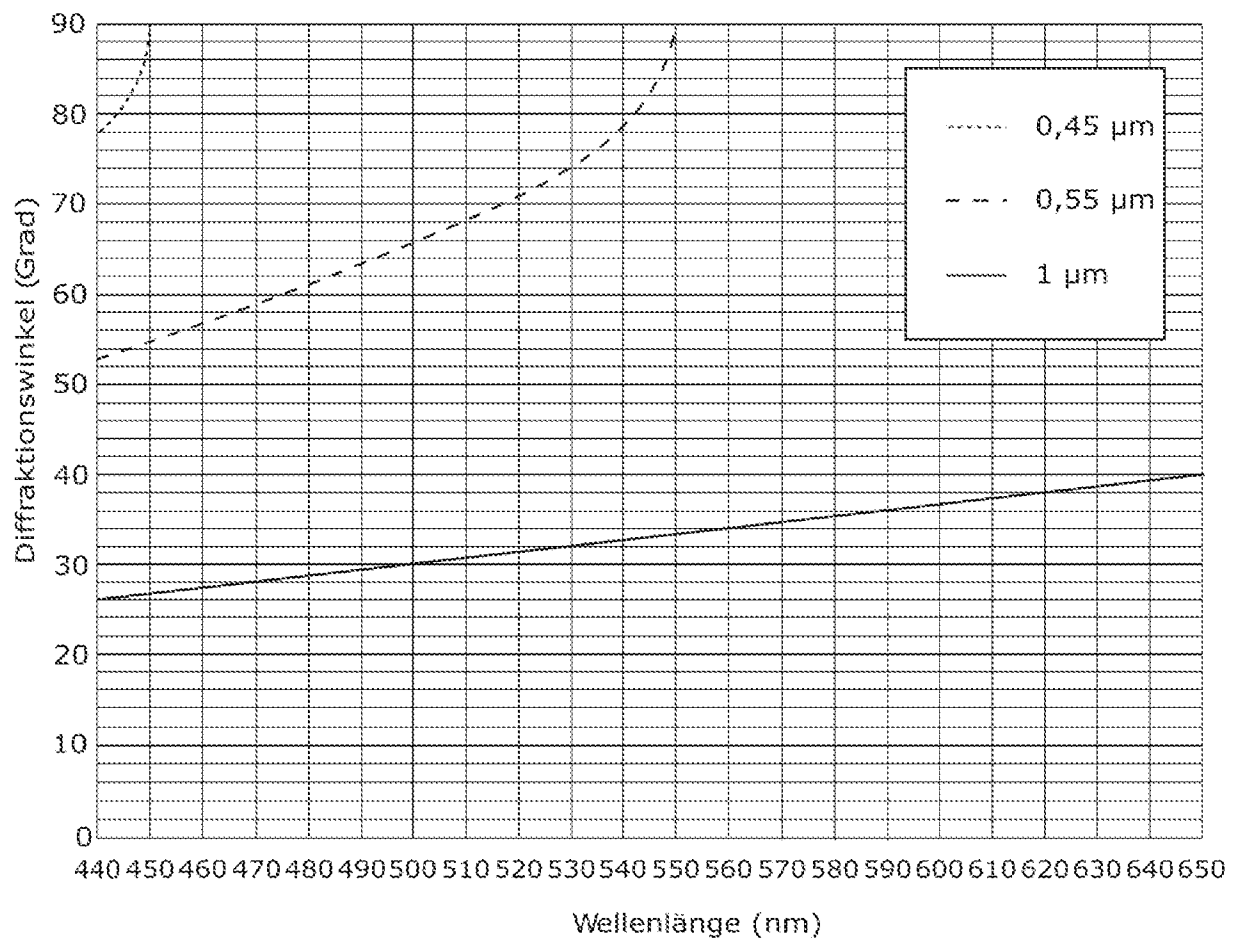
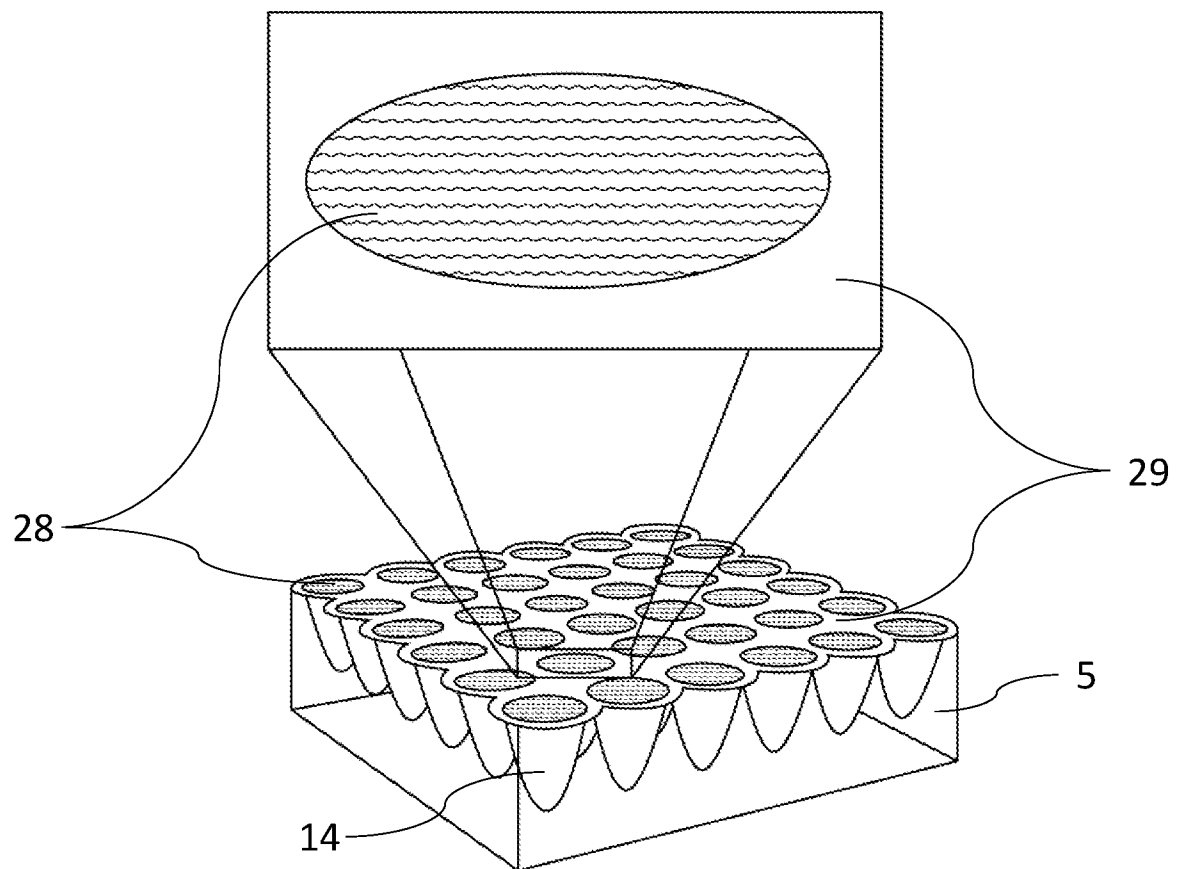


Fig. 17

**Fig. 18**

**Fig. 19**

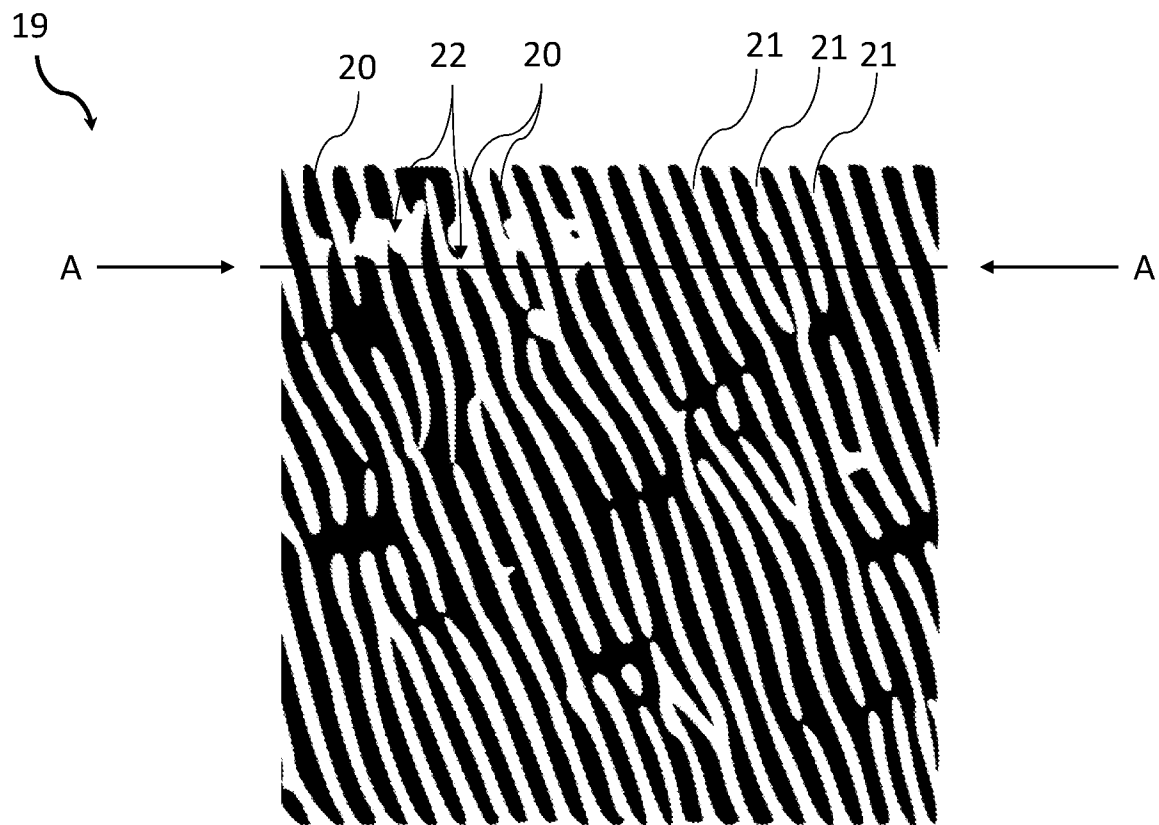


Fig. 20A

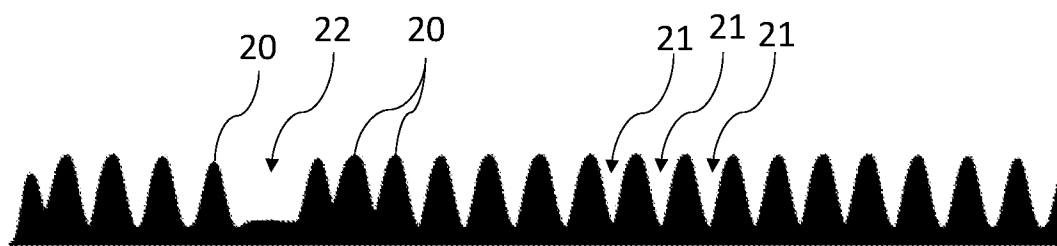
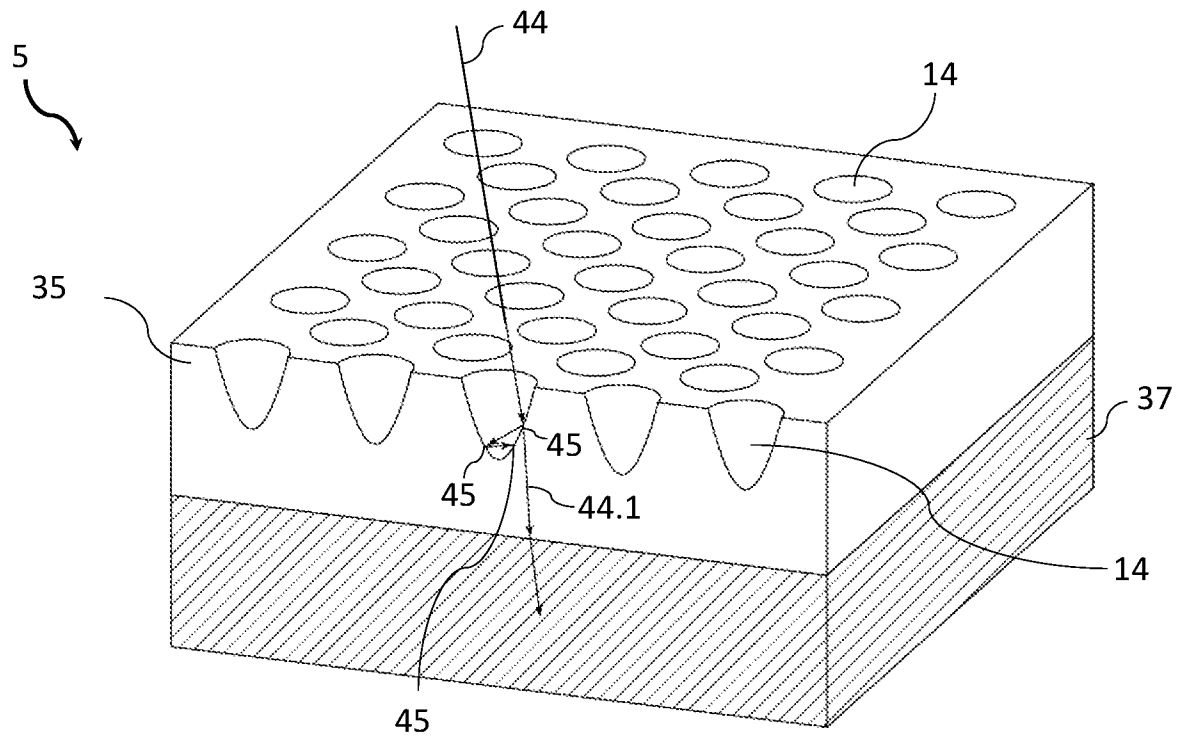


Fig. 20B

**Fig. 21**