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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. Juli 2020 (23.07.2020)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/148367 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G02B 1/00 (2006.01) *G02B 5/18* (2006.01)
B29C 33/38 (2006.01) *G02B 6/122* (2006.01)
B29C 59/02 (2006.01) *G03F 7/00* (2006.01)
B82Y 10/00 (2011.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/050991

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Januar 2020 (16.01.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 101 346.1
18. Januar 2019 (18.01.2019) DE

(71) Anmelder: **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH** [DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).

(72) Erfinder: **KNORR, Fabian**; Burgundenstraße 23, 92318 Neumarkt (DE).

(74) Anwalt: **ZACCO PATENT- & RECHTSANWÄLTE**; Bayerstrasse 83, 80335 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

(54) **Title:** NANO-STAMPING METHOD AND NANO-OPTICAL COMPONENT

(54) **Bezeichnung:** NANOSTEMPELVERFAHREN UND NANOOPTISCHES BAUTEIL

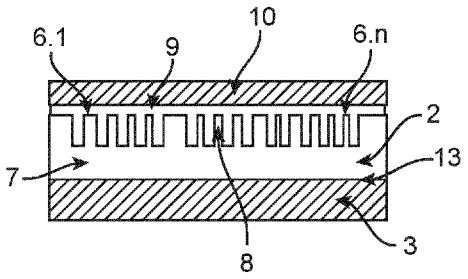


FIG. 1e

(57) **Abstract:** The invention relates to a nano-stamping method for producing a nano-optical component, comprising the method steps of: forming a nano-structure in a layer of optical embossing material on a first carrier substrate by means of a forming stamp having a nano-relief, the nano-structure comprising a plurality of nano-elevations which are connected by means of an embossing-material base; producing a coated nano-structure by covering the nano-elevations with a filling material layer, the filling material layer and the optical embossing material having different indices of refraction; applying a second carrier substrate to the coated nano-structure; detaching the first carrier substrate; and performing a material removal process on the embossing-material base. The invention also relates to a nano-optical component produced by the method.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Nanostempelverf ahren zur Herstellung eines nanooptischen Bauteils, umfassend die Verfahrensschritte: Ausbildung einer Nanostruktur in einer Schicht aus optischem Prägematerialauf einem ersten Trägersubstrat mittels eines ein Nanorelief aufweisenden Formstempels,wobei die Nanostruktur mehrere Nanoerhebungen umfasst, die über einen Prägematerial- sockel verbunden sind; Herstellung einer beschichteten Nano- struktur durch Abdeckung der Nanoerhebungen mit einer Füllma- terialschicht, wobei die Füllmaterialschicht und das optische Prägematerial unterschiedlich e Brechungsindizes aufweisen;Auf- bringung eines zweiten Trägersubstrats auf der beschichteten Nanostruktur;Ablösung des ersten Trägersubstrats; und Materi- alabtrag des Prägematerialsockels sowie ein mit dem Verfahren hergestelltes nanooptisches Bauteil.

WO 2020/148367 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

NANOSTEMPELVERFAHREN UND NANOOPTISCHES BAUTEIL

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Anmeldung DE 10 2019 101 346.1, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Nanostempelverfahren und ein nanooptisches Bauteil.

Nanooptische Elemente, wie photonische Kristalle oder diffraktive Elemente, die die Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Subwellenlängenstrukturen nutzen, sind bekannt. Zumindest in eine Raumrichtung örtlich periodisch angeordnete Dielektrika mit hinreichend großen Brechzahlunterschieden, deren Periodenlänge etwa der halben Lichtwellenlänge entspricht, führen zu photonischen Bandlücken, sodass Filter, Wellenleiter und optische Kopplungselemente auf kleinstem Bauraum realisierbar sind. Der Einbau von Fehlstellen („Dotierungen") in die Periodizität auf der Nanoskala ermöglicht eine gezielte Beeinflussung der Lichtausbreitung und die Realisierung komplexer Filtercharakteristiken. Zusätzlich können nahe der photonischen Bandlücke stark ausgeprägte Dispersionseffekte ausgenutzt werden.

Die Herstellung nanooptischer Bauteile verlangt eine Präzision von wenigen Nanometern. Zur Strukturierung werden daher fokussierte Elektronen- oder Ionenstrahlen (FIB) oder elektronenstrahllithografische Verfahren (EBL) in Verbindung mit Trockenätzen eingesetzt. Eine für die Massenfertigung taugliche, alternative Replikation bietet das Nanostempelverfahren (Nanoimprint), das für die Lithografie mit Strukturbreiten von 25 nm oder weniger im Fachartikel von S. Y. Chou et. al., „Imprint Lithography with 25-Nanometer Resolution", Science, Vol. 272, pp. 85-87 (April 5, 1996) und in US 5 772 905 A beschrieben wurde.

Für eine als Heißprägelithografie bezeichnete Ausführung des Nanostempelverfahrens erzeugt ein Formstempel (Template) mit hohem Druck Nanostrukturen in einem erhitzten Prägematerial, das typischerweise durch eine über die Glastemperatur erwärmte thermoplastische Polymerschicht ausgebildet wird. An der Grenzfläche zwischen dem Nanorelief des Formstempels und der Oberfläche des Prägematerials findet eine molekulare Umordnung statt, ohne dass ein großflächiges Fließen des erhitzten Prägematerials erfolgt. Nach dem Abkühlen des Prägematerials kann der Formstempel abgenommen werden. Zurück bleibt das inverse Abbild des Formstempelnanoreliefs.

Für eine alternative, Belichtungsstempellithografie genannte, Ausführung des Nanostempelverfahrens wird zunächst ein niederviskoses Polymer verwendet, das in den Spalt zwischen Formstempel und einem Trägersubstrat in flüssiger Form eingebracht wird. Dabei kann das flüssige Polymer auch mit einem Mikrodosierungssystem in Form feiner Tropfen auf einem Substrat abgelegt werden, bevor der Formstempel unter Bildung eines Zwischenspalts dem Substrat angenähert wird. Nach dem Ausfüllen und Verschluss des Spalts bzw. dem Positionieren des Formstempels erfolgt die Aushärtung des Polymers, typischerweise mittels UV-Licht, wobei für die Belichtung transparente Formstempel, meist aus Quarzglas, verwendet werden. Alternativ kann das Trägersubstrat transparent für die zur Vernetzung des Polymers verwendete elektromagnetische Strahlung ausgeführt werden. Ferner ist anstatt einer optisch initiierten Umwandlung ein thermisches Aushärten des strukturierten Polymers möglich.

Beispielhaft wird für die Belichtungsstempellithografie auf WO 2002/08835 A2 und DE 10134763 A1 verwiesen. Ferner beschreibt WO 2006/131153 A1 das Einprägen eines Formstempels in ein Polymermaterial zur Herstellung eines flexiblen und transparenten Sekundärformstempels, der für die Belichtungs-stempellithografie in einem zweiten Nanostempelschritt verwendet wird.

Des Weiteren kann für eine alternative Ausgestaltung des Nanostempelns als Umkehr-Imprintverfahren, wie durch US 20070059497 A1 beschrieben, zunächst eine Polymerschicht auf das Relief des Formstempels aufgetragen und ausgehärtet werden. In einem nachfolgenden Herstellungsschritt erfolgt eine zumindest teilweise Ablage der ausgehärteten Polymerschicht auf einem Trägersubstrat durch ein Kontaktdruckverfahren.

Für die Belichtungsstempellithografie und das Umkehr-Imprintverfahren übt der Formstempel keinen Prägedruck aus. Dennoch wird vorliegend der Begriff „Prägematerial" auch bei diesen Ausführungen des Nanostempelverfahrens für das zu strukturierende Polymer verwendet, das nach dem Aushärten zumindest Teilabschnitte des Formstempelnanoreliefs komplementär abbildet.

Die Anwendung des Nanoprägens zur Herstellung photonischer Kristalle wird durch US 7 255 805 B2 beschrieben. Dabei dient die nach dem Prägeschritt entstandene dreidimensionale Komplementärstruktur zur Stempeloberfläche für die Herstellung einer Lithografiemaske, mit der in einem nachfolgenden Schritt eine Strukturierung eines darunterliegenden, mehrlagigen Substrats durch Ätzverfahren ausgeführt wird.

US 7 277 619 B2 beschreibt ein weiteres Nanostempelverfahren für die Fertigung eines photonischen Kristalls. Mittels eines Formstempels, der ein Nanorelief mit Vorsprüngen in Abständen unter 500 nm aufweist, die wenigstens abschnittsweise periodisch angeordnet sind, wird eine komplementäre Nanostruktur in einem Schichtverbund aus einer Trennschicht und einem optischen Prägematerial herstellt. Dann wird eine Ätzstoppschicht auf der Nanostruktur abgeschieden, gefolgt von einem Ablösen der Trennschicht. Dies hat zur Folge, dass die Ätzstoppschicht nur auf den Bodenflächen der eingeprägten Vertiefungen im optischen Prägematerial verbleibt, sodass diese als Maske für einen nachfolgenden, konventionellen Ätzschritt, beispielsweise reaktives

Ionenätzen (RIE), verwendet werden kann, der den photonischen Kristall durch eine Eintiefung der Nanostruktur im optischen Prägematerial anlegt.

WO 2016/136181 A1 beschreibt das Abdecken der nach dem Nanoprägen vorliegenden Nanostruktur mit einer Füllmaterialschicht. Diese kann aus SiO_2 bestehen, das durch eine Rotationsbeschichtung als Spin-On-Glasschicht (SOG) aufgetragen wird. Als weitere Beispiele für die Füllmaterialschicht sind SiN, organische Materialien mit Siliziumverbindungen und Metalle bzw. Metalloxide, wie TiO_2 oder Al_2O_3, genannt. In einem weiteren Verfahrensschritt wird der die Nanoerhebungen der Nanostruktur abdeckende Teil der Füllmaterialschicht durch Trockenätzen abgetragen. In einem anschließenden selektiven Ätzschritt erfolgt ein Schichtabtrag im Bereich der freigelegten Nanostruktur bis in das darunterliegende Substrat, wobei die zuvor angeätzte Füllmaterialschicht als Maske dient.

Die inverse Abbildung einer nach dem Nanostempeln vorliegenden Nanostruktur in eine Füllmaterialschicht und der Übertrag auf ein zweites Substrat wird durch WO 2016/065308 A1 für die Herstellung von transparenten Formstempeln ausgehend von einem Mastertemplate beschrieben. Zu diesem Zweck wird eine nanogeprägte Schicht auf einem ersten Substrat mittels chemischer Gasphasenabscheidung (CVD) oder durch Atomlagenabscheidung (ALD) so beschichtet, dass die Nanostruktur vollständig mit einer dielektrischen Füllmaterialschicht, beispielsweise SiO_2, abgedeckt ist. Nach einer Planarisierung der Füllmaterialschicht wird auf der eingeebneten Oberfläche ein zweites Substrat aus Glas mittels anodischem Bonden oder durch den Auftrag einer Klebeschicht befestigt. Sodann erfolgt die Abnahme des ersten Substrats durch die Ablösung einer Trennschicht zum Prägematerial. Diese Trennschicht kann beispielsweise aus einem Positivresist bestehen, der durch ein Bad in einer basischen Lösung aufgelöst werden kann. Die dann freiliegende Prägeschicht

wird in einem nachfolgenden Verfahrensschritt, beispielsweise durch eine Sauerstoffplasmabehandlung, vollständig entfernt. Dann liegt die Füllmaterialschicht frei, die das Nanorelief des Mastertemplates aufweist.

Der Übertrag einer durch Nanostempeln hergestellten Struktur von einem ersten Substrat auf ein zweites Substrat zur Fertigung eines nanooptischen Bauteils ist Gegenstand der EP 2450724 A. Beschrieben wird die Herstellung einer gestempelten Nanostruktur auf einem Mehrlagensubstrat, das eine dauerhaft mit dem Prägematerial verbundene Tragschicht und ein ablösbares Grundsubstrat umfasst. Zwischen der Tragschicht und dem Grundsubstrat ist eine Trennschicht angeordnet, sodass die Nanostruktur in Verbindung mit der Tragschicht vom Grundsubstrat separiert und auf ein zweites Trägersubstrat übertragen werden kann. Dadurch kann das Grundsubstrat für die Erfordernisse des Nanostempelns ausgewählt werden, während das zweite Trägersubstrat an die Anwendung des nanooptischen Bauteils anpassbar ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Nanostempelverfahren anzugeben, das die Herstellung eines nanooptischen Bauteils vereinfacht. Des Weiteren ist ein nanooptisches Bauteil mit einer verbesserten Wirkcharakteristik anzugeben.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale von Anspruch 1 gelöst und das erfindungsgemäße nanooptisches Bauteil weist die Merkmale von Anspruch 12 auf. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Für das erfindungsgemäße Nanostempelverfahren wird eine Nanostruktur in einer Schicht aus optischem Prägematerial auf einem ersten Trägersubstrat mit Hilfe eines ein Nanorelief aufweisenden Formstempels ausgebildet, wobei die Nanostruktur mehrere Nanoerhebungen umfasst, die über einen Prägematerialsockel ver-

bunden sind. Unter einem optischen Prägematerial wird vorliegend ein für den vorgesehenen Wellenlängenbereich zur Verwendung des nanooptischen Elements transparentes Material verstanden, das durch Nanostempeln mit Subwellenlängen-Präzision strukturierbar ist.

In einem nachfolgenden Verfahrensschritt wird eine beschichtete Nanostruktur durch Abdeckung der Nanoerhebungen mit einer Füllmaterialschicht hergestellt, wobei die Füllmaterialschicht und das optisches Prägematerial unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen. Dann wird ein zweites Trägersubstrat auf der beschichteten Nanostruktur aufgebracht, das erste Trägersubstrat abgenommen und der Prägematerialsockel vollständig abgetragen.

Das erfindungsgemäße Nanostempelverfahren erlaubt die Herstellung eines nanooptischen Bauteils mit verbesserter Wirkcharakteristik, da nur der durch das Stempeln strukturierte Teil des optischen Prägematerials im fertigen Bauteil vorliegt und der nicht strukturierte Teil des optischen Prägematerials abgetrennt wird. Entsprechend müssen die eingeprägten, in vorbestimmten Abständen mit Subwellenlängenpräzision angeordneten Nanoerhebungen im optischen Prägematerial voneinander getrennt werden. Dazu wird ein die Nanoerhebungen verbindender Prägematerialsockel durch einen Substratwechsel zunächst rückseitig freigelegt und in einem weiteren Schritt durch Schichtabtrag abgenommen, sodass auf tiefergehende Ätzschritte im Bereich der optisch wirksamen Struktur, d.h. der Abfolge der durch das Nanostempeln angelegten Nanoerhebungen, aufgrund des rückseitigen Materialabtrags verzichtet werden kann und somit ein vereinfachtes Herstellungsverfahren resultiert.

Der abzunehmende Prägematerialsockel entsteht, weil die optische Prägematerialschicht für das Abstempeln so dimensioniert werden muss, dass ein gewisser Lagefehler des Formstempels aus-

geglichen werden kann. Zugleich muss die optische Prägematerialschicht mit einer hinreichenden Schichtdicke aufgebracht werden, um Prägekräfte zu verteilen bzw. einen ausreichenden Zustrom des Ausgangsprodukts des optischen Prägematerials sicherzustellen. Entsprechend ist die ursprüngliche Schichtdicke des optischen Prägematerials groß gegenüber der maximalen Ganghöhe des Nanoreliefs auf dem Formstempel, die die vertikale Erstreckung der Nanoerhebungen im optischen Prägematerial nach der Strukturierung bestimmt. Dabei können für das erfindungsgemäße Prägeverfahren unterschiedliche Ausgestaltungen zur Herstellung der Nanostruktur im optischen Prägematerial verwendet werden. Insbesondere kommt eine Ausgestaltung als Heißprägelithografie, als Belichtungsstempellithografie oder als Umkehr-Imprintverfahren infrage.

Das Füllmaterial zur Beschichtung der im optischen Prägematerial ausgebildeten Nanostruktur deckt die in vorbestimmten Abständen mit Subwellenlängenpräzision angeordneten Nanoerhebungen ab und füllt die Täler zwischen benachbarten Nanoerhebungen. Daher müssen das optische Prägematerial und das verwendete Füllmaterial einen hinreichend großen Brechungsindexunterschied aufweisen. Für eine vorteilhafte Ausgestaltung ist der Unterschied der Realteile der Brechungsindizes des optisches Prägematerials und der Füllmaterialschicht für einen Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm, größer als 0,5 und bevorzugt größer als 0,8.

Für eine bevorzugte Ausgestaltung des Nanostempelverfahrens wird für das optische Prägematerial ein thermoplastisches Polymer, insbesondere Polymethylmethacrylat, verwendet. Der Auftrag kann durch Rotationsbeschichtung einer Mischung aus Thermoplast und einem Lösungsmittel, wie 2-Methyoxyethylacetat, vorgenommen werden. Ferner wird für die Herstellung von IR-

Nanooptiken ein fotoreaktives Epoxidharz als optisches Prägematerial bevorzugt.

Als Füllmaterial zur Abdeckung der Nanoerhebungen wird Silizumdioxid bevorzugt, das in einer Mischung mit Lösungsmittel als Spin-on-Glasschicht zur Bildung einer beschichteten Nanostruktur auf das nanogestempelte optische Prägematerial aufgebracht wird. Ein weiteres bevorzugtes Füllmaterial stellt Al_2O_3 dar. Anwendbare Beschichtungsverfahren sind Rotationsbeschichtung, chemische Gasphasenabscheidung oder eine Atomlagenabscheidung.

Für das zweite Trägersubstrat, das auf die beschichtete Nanostruktur aufgebracht wird, ist ein Material vorteilhaft, das in einem Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm transparent ist. Besonders bevorzugt wird Quarzglas. Die Verbindung zur Oberfläche der Füllmaterialbeschichtung erfolgt durch anodisches Bonden oder mittels einer transparenten Klebstoffschicht.

Für eine bevorzugte Weitergestaltung wird vor dem Aufbringen des zweiten Trägersubstrats eine Planarisierung der beschichteten Nanostruktur ausgeführt, die durch ein kombiniertes chemisch-mechanisches Verfahren erfolgen kann. Dabei wird die Planarisierung der beschichteten Nanostruktur vorteilhafterweise so gestaltet, dass die Nanoerhebungen im optischen Prägematerial nicht angeschnitten werden.

Zur Vereinfachung der Ablösung des ersten Trägersubstrats wird zwischen der Schicht aus optischem Prägematerial und dem ersten Trägersubstrat bevorzugt eine Trennschicht angeordnet. Für eine vorteilhafte Ausführung wird eine Trennschicht verwendet, die in einem Flüssigkeitsbad abgenommen werden kann. Zu diesem Zweck kann ein Positivresist gewählt werden, der in einer basischen Lösung lösbar ist.

Nach der Abtrennung des ersten Trägersubstrats wird der unstrukturierte Teil der optischen Prägeschicht, der Prägematerialsockel, von seiner Rückseite aus zugänglich und kann bis zum optisch wirksamen Teil der Nanostruktur abgetragen werden. Zu diesem Zweck kommen Dünnschichtabtragverfahren, wie Plasmaätzverfahren, Ionenstrahlätzen oder Laserablation infrage.

Für eine Ausführungsvariante nimmt das Dünnschichtabtragverfahren den Prägematerialsockel vollständig ab und schneidet zusätzlich die optisch Nanostruktur an. Damit erfolgt ein Entfernen aller Reste des Prägmaterialsockels, sodass die nach dem Nanoprägen Nanoerhebungen darstellenden, optisch wirksamen Teile der Nanostruktur sicher voneinander getrennt sind. Zusätzlich werden Kantenabrundungen in den ursprünglich bodennahen Bereichen der Nanoerhebungen abgetragen, sodass das Aspektverhältnis der Nanostruktur verbessert wird.

Für eine vorteilhafte Weitergestaltung wird auf der durch den Materialabtrag des Prägematerialsockels freigelegten Bauteilfläche eine Schutzbeschichtung aufgebracht. Dabei sollte die Schutzbeschichtung vorteilhafterweise so gewählt sein, dass ein deutlicher Unterschied zum Brechungsindex des optischen Prägematerials und ein nur kleiner oder kein Unterschied zum Brechungsindex des Füllmaterials vorliegt. Bevorzugt ist ein Unterschied der Realteile der Brechungsindizes der Schutzbeschichtung und der Füllmaterialschicht für einen Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm, kleiner als 0,1 und bevorzugt kleiner als 0,05. Besonders bevorzugt wird die Schutzbeschichtung und die Füllmaterialschicht aus dem gleichen Material hergestellt. Ferner wird die Schutzbeschichtung vorteilhafterweise als Spin-on-Glasschicht ausgeführt und besteht besonders bevorzugt aus Siliziumdioxid oder Al_2O_3.

Das erfindungsgemäße nanooptische Bauteil umfasst ein Trägersubstrat und eine Nanostruktur mit in vorbestimmten Abständen angeordneten Nanoerhebungen aus optischem Prägematerial. Zwischen dem Trägersubstrat und den Nanoerhebungen befindet sich eine Füllmaterialschicht, die eine durchgehende Lage bildet und zusätzlich die Bereiche zwischen den Nanoerhebungen ausfüllt, wobei die Nanoerhebungen und die Füllmaterialschicht unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen müssen.

Durch die Abnahme des Prägematerialsockels liegen die Nanoerhebungen getrennt voneinander vor und bilden aufgrund der Einbettung in die Füllmaterialschicht eine schwebende Struktur mit einer guten optischen Wirkcharakteristik.

Das Trägersubstrat des erfindungsgemäßen nanooptischen Bauteils stellt die für das Herstellungsverfahren als zweites Trägersubstrat bezeichnete Komponente dar. Dabei wird das Trägersubstrat in Abhängigkeit des für die jeweilige Anwendung vorgesehenen Wellenlängenbereichs bevorzugt transparent gewählt. Besonders bevorzugt wird eine Transparenz des Trägersubstrats für einen Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm.

Für eine vorteilhafte Weitergestaltung wird auf die vom Trägersubstrat abgewandte Oberfläche der Nanostruktur eine Schutzbeschichtung aufgebracht. Bevorzugt ist diese so gestaltet, dass kein wesentlicher Brechungsindexunterschied zwischen der Füllmaterialschicht und der Schutzbeschichtung vorliegt. Vorteilhafterweise ist der Unterschied der Realteile der Brechungsindizes der Schutzbeschichtung und der Füllmaterialschicht für einen Wellenlängenbereich von 380nm bis 780nm und/oder von 0,78µm bis 1,4µm und/oder von 1,4µm bis 3,0µm kleiner als 0,1 und bevorzugt kleiner als 0,05. Besonders bevorzugt ist eine Ausgestaltung, bei der Füllmaterialschicht und Schutzbeschichtung aus dem gleichen Material bestehen.

Nachfolgend sind beispielhafte Ausgestaltungsvarianten der Erfindung im Zusammenhang mit Figurendarstellungen erläutert. Diese zeigen, jeweils schematisch, Folgendes:

Fig. 1a – 1g zeigen das erfindungsgemäße Nanostempelverfahren zur Herstellung eines nanooptischen Bauteils.

Fig. 1h zeigt den abschließenden Verfahrensschritt für eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Nanostempelverfahrens und ein nanooptisches Bauteil.

Fig. 1 zeigt in schematisch vereinfachter Schnittansicht ein erstes Trägersubstrat (3) aus Silizium mit einer Schicht aus optischem Prägematerial (2), das mittels eines Nanostempelverfahrens strukturierbar und zusätzlich in dem für die Anwendung gewählten Wellenlängenbereich transparent ist. Für das dargestellte Ausführungsbeispiel liegt mit Polymethylmethacrylat ein für die Heißprägelithografie geeigneter Thermoplast vor, der durch Rotationsbeschichtung (Spin Coating) einer Mischung aus Thermoplast und 2-Methyoxyethylacetat als Lösungsmittel auf das erste Trägersubstrat (3) aufgebracht wird. Nach dem Trocknen und Ausbacken des Lösungsmittels bei zum Beispiel 95° entsteht eine Schicht aus optischem Prägematerial (2) mit einer mittleren Schichtdicke von größer als 1µm auf dem ersten Trägersubstrat (3), die wesentlich größer als die Strukturbreite der anzulegenden Nanostruktur ist. Dabei wird die Schichtdicke für das optische Prägematerial (2) so angepasst, dass ein großflächiges Formstempeln möglich ist.

Des Weiteren zeigt Fig. 1a einen Formstempel (5) aus Nickel mit einem Nanorelief (4), das die Negativform der zu bildenden Nanostruktur darstellt und eine maximale Ganghöhe von 500nm aufweist. Das Nanorelief (4) ist mit einer Beschichtung aus Polytetrafluorethylen zur Verbesserung der Stempelablösung versehen.

Fig. 1b zeigt den Verfahrensschritt des Nanostempelns, wobei der Formstempel (5) unter hohem Druck in das über die Glastemperatur aufgeheizte, optische Prägematerial (2) gepresst wird. Als Ergebnis entsteht die in Fig. 1c gezeigte Nanostruktur (1) in der Schicht aus optischem Prägematerial (2), deren Tiefenerstreckung durch die Ganghöhe des Nanoreliefs (4) des Formstempels (5) bestimmt ist und weniger als 500nm beträgt. Entsprechend bleibt ein Prägematerialsockel (7) unter der Nanostruktur (1) unstrukturiert.

Die Nanostruktur (1) weist Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) mit einem hohen Aspektverhältnis auf, die in vorbestimmten Lateralabständen unter 500nm und typischerweise unter 100nm angeordnet sind. Dabei liegen in ein oder zwei Richtungen zumindest über Teilbereiche periodische Abfolgen aus Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) und Freibereichen vor, die durch die Täler zwischen den Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) gebildet werden. Die Periodenlänge dieser Abfolgen beträgt weniger als die halbe Wellenlänge der vorgesehenen optischen Anwendung. Zusätzlich liegen an vorbestimmten Positionen Unterbrechungen der periodischen Abfolge vor, die zur Einstellung der optischen Bandlücke dienen.

Fig. 1d zeigt eine auf die Nanostruktur (1) aufgebrachte Füllmaterialschicht (9), die die Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) abdeckt und die Täler zwischen diesen auffüllt, sodass eine beschichtete Nanostruktur (8) entsteht. Als Füllmaterialschicht (9) wird Siliziumdioxid verwendet, das als Spin-On-Glasschicht aufgebracht wird. Durch die Rotationsbeschichtung entsteht eine plane Oberfläche der beschichteten Nanostruktur (8), die durch eine im Einzelnen nicht dargestellte mechanisch-chemische Planarisierung noch weiter eingeebnet werden kann.

Fig. 1e zeigt die Aufbringung eines zweiten Trägersubstrats (10) aus Quarzglas auf der beschichteten Nanostruktur (8) mittels

anodischem Bonden, sodass eine Abtrennung des ersten Trägersubstrats (3), die in Fig. 1f gezeigt ist, ausgeführt werden kann. Zu diesem Zweck ist zwischen der Schicht aus optischem Prägematerial (3) und dem ersten Trägersubstrat (3) eine Lage aus einem mittels einer basischen Lösung abnehmbaren Positivresist als Trennschicht (13) vorgesehen. Nach dem Wegnahme des ersten Trägersubstrats (3) ist der Prägematerialsockel (7) von der Rückseite her zugänglich und kann mittels einer Sauerstoffplasmabehandlung abgetragen werden.

Das in Fig. 1g gezeigte Ergebnis des Plasmaätzens verdeutlicht die vollständige Entfernung des Prägematerialsockels (7), sodass die Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) voneinander getrennt vorliegen und eine freischwebende Nanostuktur (1) in der Füllmaterialschicht (9) bilden.

Für eine in Fig. 1h gezeigte Weitergestaltung wird auf die durch den Materialabtrag des Prägematerialsockels freigelegten Oberfläche der beschichteten Nanostruktur (8) eine Schutzbeschichtung (12) aufgetragen, die aus Siliziumdioxid und somit aus dem gleichen Material wie die Füllmaterialschicht (9) besteht. Aufgetragen wird das Siliziumdioxid als Spin-On-Glasschicht.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung im Rahmen der nachfolgenden Ansprüche sind denkbar.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Nanostruktur
2	Schicht aus optischem Prägematerial
3	erstes Trägersubstrat
4	Nanorelief
5	Formstempel
6.1,…	
6.n	Nanoerhebung
7	Prägematerialsockel
8	beschichtete Nanostruktur
9	Füllmaterialschicht
10	zweites Trägersubstrat
11	freigelegten Bauteilfläche
12	Schutzbeschichtung
13	Trennschicht

PATENTANSPRÜCHE

1. Nanostempelverfahren zur Herstellung eines nanooptischen Bauteils, umfassend die Verfahrensschritte:
Ausbildung einer Nanostruktur (1) in einer Schicht aus optischem Prägematerial (2) auf einem ersten Trägersubstrat (3) mittels eines ein Nanorelief (4) aufweisenden Formstempels (5), wobei die Nanostruktur (1) mehrere Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) umfasst, die über einen Prägematerialsockel (7) verbunden sind;
Herstellung einer beschichteten Nanostruktur (8) durch Abdeckung der Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) mit einer Füllmaterialschicht (9), wobei die Füllmaterialschicht (9) und das optisches Prägematerial (2) unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen;
Aufbringung eines zweiten Trägersubstrats (10) auf der beschichteten Nanostruktur (8);
Ablösung des ersten Trägersubstrats (3); und
Materialabtrag des Prägematerialsockels (7).

2. Nanostempelverfahren nach Anspruch 1, wobei auf der durch den Materialabtrag des Prägematerialsockels (7) freigelegten Bauteilfläche (11) eine Schutzbeschichtung (12) aufgebracht wird.

3. Nanostempelverfahren nach Anspruch 2, wobei der Unterschied der Realteile der Brechungsindizes der Schutzbeschichtung (12) und der Füllmaterialschicht (9) für einen Wellenlängenbereich von 380nm bis 780nm und/oder von 0,78µm bis 1,4µm und/oder von 1,4µm bis 3,0µm kleiner als 0,1 und bevorzugt kleiner als 0,05 ist.

4. Nanostempelverfahren nach Anspruch 2, wobei die Schutzbeschichtung (12) und die Füllmaterialschicht (9) aus dem gleichen Material bestehen.

5. Nanostempelverfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei der Unterschied der Realteile der Brechungsindizes der Schicht aus optischem Prägematerial (2) und der Füllmaterialschicht (9) für einen Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm größer als 0,5 und bevorzugt größer als 0,8 ist.

6. Nanostempelverfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei zwischen dem ersten Trägersubstrat (3) und der Schicht aus optischem Prägematerial (2) eine Trennschicht (13) vorliegt.

7. Nanostempelverfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei vor der Aufbringung des zweiten Trägersubstrats (10) eine Planarisierung der beschichteten Nanostruktur (8) ausgeführt wird.

8. Nanostempelverfahren nach Anspruch 7, wobei die Planarisierung der beschichteten Nanostruktur (8) die Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) aus optischem Prägematerial (2) nicht anschneidet.

9. Nanostempelverfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die Abdeckung der Nanoerhebungen (6.1,…, 6.n) mittels einer Spin-On-Glasschicht als Füllmaterialschicht (9) ausgeführt wird.

10. Nanostempelverfahren nach einem der Ansprüche 2 - 9, wobei die Schutzbeschichtung (12) als Spin-On-Glasschicht ausgeführt wird.

11. Nanostempelverfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei ein zweites Trägersubstrat (10) aufgebracht wird, das in einem Wellenlängenbereich von 380 nm bis

780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm transparent ist.

12. Nanooptisches Bauteil, umfassend:
ein Trägersubstrat;
eine Nanostruktur (8) mit in vorbestimmten Abständen angeordneten Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) aus optischem Prägematerial;
eine Füllmaterialschicht (9), die eine durchgehende Lage zwischen dem Trägersubstrat und den Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) bildet und die Zwischenräume zwischen den Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) ausfüllt, wobei die Nanoerhebungen (6.1,…,6.n) und die Füllmaterialschicht (9) unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.

13. Nanooptisches Bauteil nach Anspruch 12, wobei die Nanostruktur (8) auf der vom Trägersubstrat abgewandten Oberfläche eine Schutzbeschichtung (12) aufweist.

14. Nanooptisches Bauteil nach Anspruch 13, wobei der Unterschied der Realteile der Brechungsindizes der Schutzbeschichtung (12) und der Füllmaterialschicht (9) für einen Wellenlängenbereich von 380nm bis 780nm und/oder von 0,78µm bis 1,4µm und/oder von 1,4µm bis 3,0µm kleiner als 0,1 und bevorzugt kleiner als 0,05 ist.

15. Nanooptisches Bauteil nach einem der Ansprüche 12 - 14, wobei das Trägersubstrat in einem Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm und/oder von 0,78 µm bis 1,4 µm und/oder von 1,4 µm bis 3,0 µm transparent ist.

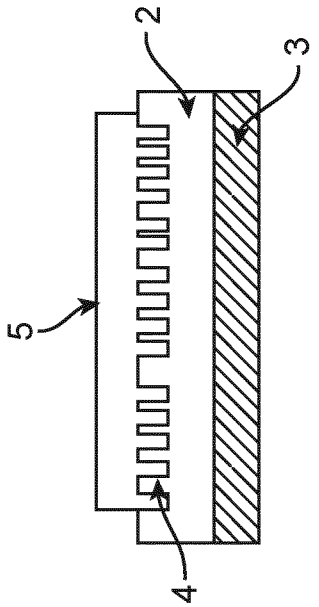


FIG. 1b

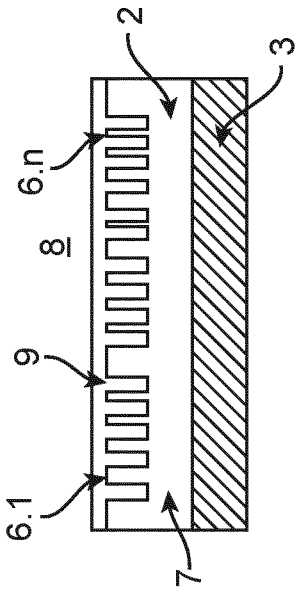


FIG. 1d

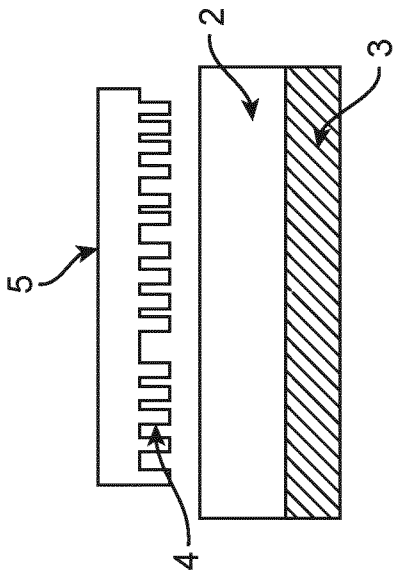


FIG. 1a

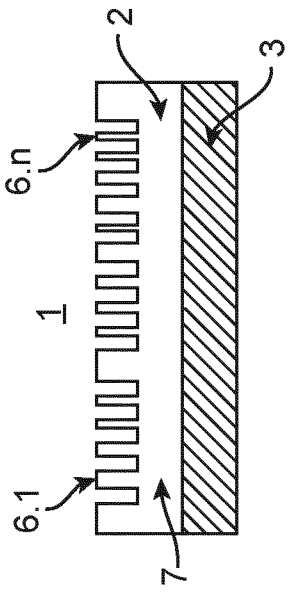


FIG. 1c

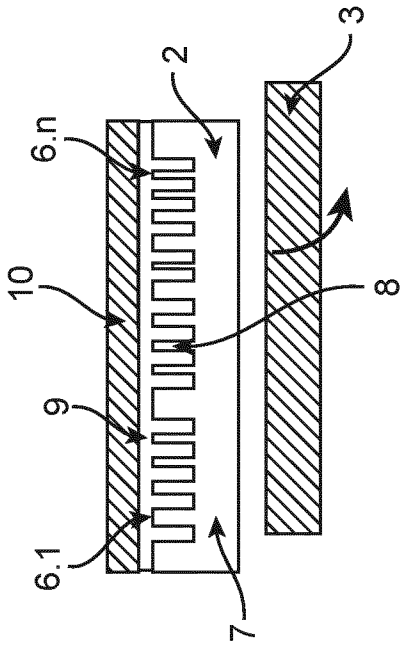


FIG. 1f

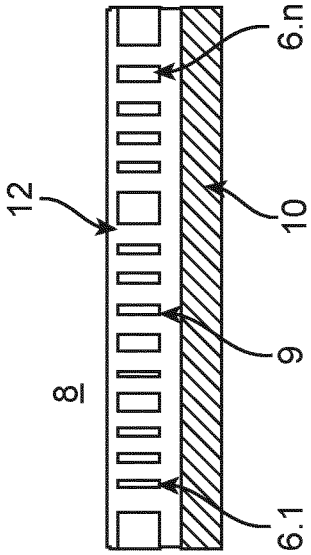


FIG. 1h

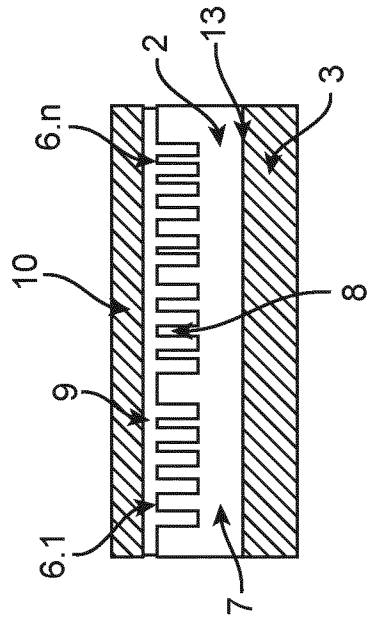


FIG. 1e

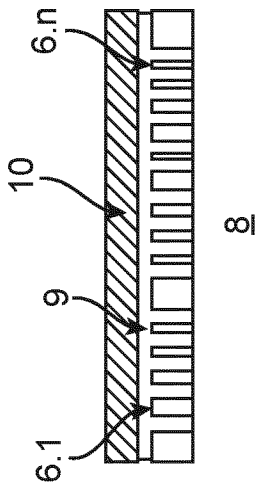


FIG. 1g

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2020/050991

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 1/00(2006.01)i; ***B29C 33/38***(2006.01)i; ***B29C 59/02***(2006.01)i; ***B82Y 10/00***(2011.01)i; ***G02B 5/18***(2006.01)i; ***G02B 6/122***(2006.01)i; ***G03F 7/00***(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B; G03F; B29C; B82Y

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2940741 A1 (ENRAYTEK OPTOELECTRONICS CO [CN]) 04 November 2015 (2015-11-04)	12-15
A	the whole document	1-11
X	WO 2011135494 A2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; STROEMER JAN FRANK [NL] ET AL.) 03 November 2011 (2011-11-03)	12-15
A	the whole document	1-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
31 March 2020	**08 April 2020**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Wolf, Steffen** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2020/050991

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
EP 2940741 A1	04 November 2015	CN 103066178 A	24 April 2013
		EP 2940741 A1	04 November 2015
		US 2015333223 A1	19 November 2015
		WO 2014101798 A1	03 July 2014
WO 2011135494 A2	03 November 2011	CN 102870249 A	09 January 2013
		EP 2564440 A2	06 March 2013
		EP 2824726 A2	14 January 2015
		JP 5868952 B2	24 February 2016
		JP 2013527606 A	27 June 2013
		KR 20130095645 A	28 August 2013
		US 2013037787 A1	14 February 2013
		US 2016087210 A1	24 March 2016
		WO 2011135494 A2	03 November 2011

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/050991

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G02B1/00 B29C33/38 B29C59/02 B82Y10/00 G02B5/18
G02B6/122 G03F7/00
ADD.
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G02B G03F B29C B82Y

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 940 741 A1 (ENRAYTEK OPTOELECTRONICS CO [CN]) 4. November 2015 (2015-11-04)	12-15
A	das ganze Dokument	1-11

X	WO 2011/135494 A2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; STROEMER JAN FRANK [NL] ET AL.) 3. November 2011 (2011-11-03)	12-15
A	das ganze Dokument	1-11

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
31. März 2020	08/04/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Wolf, Steffen

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/050991

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2940741 A1	04-11-2015	CN 103066178 A	24-04-2013
		EP 2940741 A1	04-11-2015
		US 2015333223 A1	19-11-2015
		WO 2014101798 A1	03-07-2014
WO 2011135494 A2	03-11-2011	CN 102870249 A	09-01-2013
		EP 2564440 A2	06-03-2013
		EP 2824726 A2	14-01-2015
		JP 5868952 B2	24-02-2016
		JP 2013527606 A	27-06-2013
		KR 20130095645 A	28-08-2013
		US 2013037787 A1	14-02-2013
		US 2016087210 A1	24-03-2016
		WO 2011135494 A2	03-11-2011