



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

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Abbildungssystem, insbesondere ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektions- belichtungsanlage, mit wenigstens einem optischen Element (100), welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n größer als 1.6 hat, und mit einer bildseitigen numerischen Apertur NA, welche kleiner als die Brechzahl n ist, wobei die Differenz (n -NA) zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.

als 1,6 ist, beispielsweise Magnesiumspinnell mit einem Brechungsindex von ca. 1.87 bei einer Wellenlänge von 193nm, oder Magnesiumoxid, dessen Brechungsindex bei 193nm etwa 2.0 beträgt.

5

Ein Problem beim Einsatz dieser Materialien als Linsenelemente besteht darin, dass sie durch ihre kubische Kristallstruktur intrinsische Doppelbrechung aufweisen, die mit niedriger Wellenlänge ansteigt, wobei z.B. Messungen der IDB-bedingten Verzögerung für Magnesiumspinnell bei einer Wellenlänge von 193nm einen Wert von 52 nm/cm ergeben haben, und die IDB-bedingte Verzögerung für Magnesiumoxid bei 193nm zu etwa 72 nm/cm abgeschätzt wurde. Eine solche Verzögerung kann je nach Designbedingungen im Bildfeld zu lateralen Strahlabweichungen führen, die das 3- bis 5-fache der abzubildenden Strukturbreite betragen.

Zur Reduzierung des negativen Einflusses der intrinsischen Doppelbrechung in Fluoridkristall-Linsen auf die optische Abbildung ist es beispielsweise aus US 2004/0105170 A1 und WO 02/093209 A2 u.a. bekannt, Fluoridkristall-Linsen des gleichen Kristallschnitts gegeneinander verdreht anzuordnen (sogenanntes „Clocking“), sowie zusätzlich auch mehrere Gruppen solcher Anordnungen mit unterschiedlichen Kristallschnitten (z.B. aus 100-Linsen und 111-Linsen) miteinander zu kombinieren.

Wenngleich durch dieses Verfahren eine gewisse Kompensation des negativen Einflusses der intrinsischen Doppelbrechung auch in den o.g. hochbrechenden kubischen Materialien erreichbar ist, besteht ein weiteres Problem darin, dass die Kompensation durch das o.g. „Clocking“ dann unvollkommen ist, wenn die jeweiligen „Kompensationswege“ (z.B. die jeweiligen

Strahlwege der zur Interferenz gelangenden Strahlen in den zueinander verdrehten Bereichen des gleichen Kristallschnitts) unterschiedlich sind, wie es insbesondere bei außeraxialen Strahlbüscheln beispielsweise in einer bildseitig letzten plankonvexen Linse (als typischer Einsatzort des hochbrechenden Materials) der Fall ist. Dieser Umstand wirkt sich umso stärker aus, je stärker der Effekt der intrinsischen Doppelbrechung ist, was gerade einen Einsatz der o.g. hochbrechenden Materialien im bildnahen Bereich von Lithographie-Objektiven, z.B. als letztes Linsenelement, unter den dort auftretenden großen Strahlwinkeln, bei denen auch die intrinsische Doppelbrechung im (100)- und (111)- Kristallschnitt besonders hoch ist, erschwert.

15

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Abbildungssystem, insbesondere ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage bereitzustellen, welches den Einsatz hochbrechender Kristallmaterialien bei Begrenzung des negativen Einflusses intrinsischer Doppelbrechung ermöglicht.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfasst ein erfindungsgemäßes Abbildungssystem, insbesondere ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wenigstens ein optisches Element, welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n größer als 1.6 hat, und besitzt eine bildseitige numerische Apertur NA , wobei die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.

Die Erfindung geht dabei zunächst von der Erkenntnis aus, dass der Effekt der intrinsischen Doppelbrechung mit kürzer werdender Wellenlänge nicht linear ansteigt, sondern vielmehr
5 zunächst allmählich einsetzt und dann mit fallender Wellenlänge dramatisch ansteigt. Diese Nichtlinearität ist umso stärker ausgeprägt, je mehr sich die jeweilige Arbeitswellenlänge der Absorptionskante (im UV-Bereich) für das betreffende Material nähert.

10

Erfindungsgemäß wird nun das Potential an Materialien mit möglichst hohen Brechzahlen nicht ausgeschöpft, sondern die Brechzahl wird gerade so hoch (und nicht höher) gewählt, wie es erforderlich ist, um geometrisch Projektionslicht auch unter den maximal auftretenden Strahlwinkeln noch durch das Projektionsobjektiv zu koppeln und zur Abbildung zu bringen. Zugleich wird erfindungsgemäß die moderatere Anforderung an die Höhe der Brechzahl ausgenutzt, um ein solches Kristallmaterial auszuwählen, dessen Absorptionskante tiefer im UV
15 liegt, so dass infolgedessen die intrinsische Doppelbrechung im Bereich der Arbeitswellenlänge noch kleiner bzw. weniger stark angestiegen ist, als dies bei einem Material mit höher liegender Absorptionskante der Fall ist.

20

Bei einer numerischen Apertur von beispielsweise $NA = 1.5$ wird erfindungsgemäß, trotz gegebener Verfügbarkeit von bei typischen Arbeitswellenlängen von 193nm transparenten Materialien mit hohen Brechzahlen von beispielsweise $n = 1.87$ (Magnesiumspinel) und darüber, bewusst auf die Wahl möglichst hochbrechender Kristallmaterialien verzichtet, sondern es wurden
25 erfindungsgemäß vielmehr Materialien gesucht und gefunden, bei denen der Abstand der Brechzahl n zur (tieferliegenden) bildseitigen numerischen Apertur des Abbildungssystems gerin-

30

ger ist, aber gerade noch ausreicht, um das Projektionslicht auch unter maximal auftretenden Strahlwinkeln noch durch das Abbildungssystem zu koppeln bzw. zur Abbildung zu bringen.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt umfasst ein Abbildungssystem, insbesondere ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wenigstens ein optisches Element, welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n
10 hat, und besitzt eine bildseitige numerische Apertur NA von wenigstens 1.50, wobei die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.

15 Gemäß einem weiteren Aspekt umfasst ein Abbildungssystem, insbesondere ein Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wenigstens ein optisches Element, welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n
20 hat und eine plane Lichtaustrittsfläche aufweist, und besitzt eine bildseitige numerische Apertur NA , welche kleiner als die Brechzahl n ist, wobei die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.

25 Vorzugsweise liegt die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n des optischen Elements und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems im Bereich von 0.05 bis 0.20, vorzugsweise im Bereich von 0.05 bis 0.15, und besonders bevorzugt
30 im Bereich von 0.05 bis 0.10. Dabei wird durch die obere Grenze der Brechzahl wie oben ausgeführt eine Begrenzung der intrinsischen Doppelbrechung erreicht, während durch die un-

tere Grenze der Brechzahl eine Begrenzung des Gesamtlinsenvolumens des Projektionsobjektivs erreicht wird.

Weitere, durch die erfindungsgemäß zum Einsatz kommenden Materialien vorzugsweise zu erfüllende Kriterien sind eine hinreichende Stabilität gegenüber Luftfeuchtigkeit und UV-Licht, hohe Härte und gute optische Bearbeitbarkeit, sowie möglichst ungiftige Bestandteile.

- 10 In einer bevorzugten Ausführung weist das kubische Kristallmaterial ein Oxid auf, wofür eine ausreichende Transmission bei vergleichsweise hoher Brechzahl erhalten wurde.

- 15 In einer bevorzugten Ausführung weist das kubische Kristallmaterial Saphir (Al_2O_3) und ein Kalium- oder Kalziumoxid auf.

- Insbesondere weist das kubische Kristallmaterial vorzugsweise wenigstens ein Material auf, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die $7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{CaO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{K}_2\text{O}$ und $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ enthält.
- 20

- Dabei bewirkt der Anteil von Saphir (Al_2O_3) eine Verbreiterung der Bandlücke bzw. eine Verschiebung der Absorptionskante in den UV-Bereich bei gleichzeitiger Erhöhung der Brechzahl, so dass brechzahlsenkende weitere Bestandteile den Mischkristall ergänzen, was zu der obigen Verringerung der intrinsischen Doppelbrechung führt.
- 25

- In einer weiteren bevorzugten Ausführung weist das kubische Kristallmaterial Kalzium, Natrium und Siliziumoxid auf. Insbesondere weist das kubische Kristallmaterial vorzugsweise wenigstens ein Material aus der Gruppe auf, die $\text{CaNa}_2\text{SiO}_4$ und $\text{CaNa}_4\text{Si}_3\text{O}_9$ enthält.
- 30

In einer weiteren bevorzugten Ausführung weist das kubische Kristallmaterial wenigstens ein Material aus der Gruppe auf, die $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{MgONa}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ enthält.

5

Das optische Element ist vorzugsweise die bildseitig letzte brechende Linse des Abbildungssystems.

10 Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das optische Element aus einem ersten Teilelement mit Brechkraft und einem zweiten, im Wesentlichen brechkraftlosen Teilelement zusammengesetzt. Vorzugsweise ist dabei das erste Teilelement eine im Wesentlichen plankonvexe Linse, und das zweite Teilelement ist eine planparallele Platte.

15

Ein solcher Aufbau des optischen Elements hat den Vorteil einer besonders effektiven Korrektur der sphärischen Aberration, welche typischerweise bei hohen Aperturen den größten zu bewältigenden Beitrag an Abbildungsfehlern darstellt. Bei te-
20 lezentrischem Strahlengang im Bereich des optischen Elementes kann insbesondere durch das planparallele Teilelement in vorteilhafter Weise eine über das Bildfeld gleichmäßige Korrektur der sphärischen Aberration erreicht werden.

25 Im Gegensatz zu dem ersten Teilelement mit Brechkraft (d.h. insbesondere der plankonvexen Linse) treten in dem zweiten, im Wesentlichen brechkraftlosen Teilelement bei einem Aufbau aus gegeneinander verdrehten Teilbereichen des gleichen Kristallschnitts für die jeweiligen Teilbereiche jeweils im We-
30 sentlichen gleiche Kompensationswege auf, so dass insoweit eine effektive Korrektur der intrinsischen Doppelbrechung im Wege des „Clocking-Schemas“ erfolgen kann. Folglich ist es vorteilhaft, in dem zweiten, im Wesentlichen brechkraftlosen

Teilelement ein zweites Material mit größerer Brechzahl als das Material in dem ersten Bereich vorzusehen, wobei diese größere Brechzahl insbesondere auch jenseits des o.g. Abstands von der numerischen Apertur liegen kann.

5

In einer bevorzugten Ausführungsform ist daher das zweite Material aus der Gruppe Magnesiumspinnell (MgAl_2O_4), Yttriumaluminiumgranat ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), MgO und Scandiumaluminiumgranat ($\text{Sc}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) ausgewählt.

10

Zur Kompensation der intrinsischen Doppelbrechung weist (zur Realisierung des Clocking-Schemas) das zweite Teilelement eine Elementachse und wenigstens zwei Teilbereiche auf, welche den gleichen Kristallschnitts aufweisen und gegeneinander um die Elementachse verdreht angeordnet sind.

15

In einer Ausführung weisen der erste Teilbereich und der zweite Teilbereich jeweils einen (111)-Kristallschnitt auf und sind gegeneinander um $60^\circ + k \cdot 120^\circ$ ($k=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet.

20

In einer weiteren Ausführung weisen der erste Teilbereich und der zweite Teilbereich jeweils einen (100)-Kristallschnitt auf und sind gegeneinander um $45^\circ + l \cdot 90^\circ$ ($l=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet.

25

In einer weiteren Ausführung weist das zweite Teilelement eine Elementachse und wenigstens vier Teilbereiche auf, wobei ein erster Teilbereich und ein zweiter Teilbereich jeweils einen (111)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $60^\circ + k \cdot 120^\circ$ ($k=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sind, und wobei ein dritter Teilbereich und ein vierter Teilbereich jeweils einen (100)-Kristallschnitt aufweisen und

30

gegeneinander um $45^\circ + l \cdot 90^\circ$ ($l=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sind.

Die Erfindung betrifft ferner eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, ein Verfahren zur Herstellung mikrolithographischer Bauelemente und ein mikrostrukturiertes Bauelement.

Ferner betrifft die Erfindung auch die Verwendung eines Materials als Ausgangsmaterial zur Herstellung eines optischen Elements in einem Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, wobei das Material aus der Gruppe ausgewählt ist, welche $7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{CaO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{K}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaNa}_2\text{SiO}_4$, $\text{CaNa}_4\text{Si}_3\text{O}_9$, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{MgONa}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ enthält.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der Beschreibung sowie den Unteransprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des Aufbaus eines optischen Elements in einem erfindungsgemäßen Abbildungssystem in einer bevorzugten Ausführungsform; und

Figur 2 eine schematische Darstellung des prinzipiellen Aufbaus einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage, welche ein erfindungsgemäßes Projektionsobjektiv aufweisen kann.

5

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 1 zeigt lediglich schematisch den Aufbau eines optischen Elements 100 in einem erfindungsgemäßen Abbildungssystem. Das optische Element 100 ist vorzugsweise insbesondere die bildseitig letzte Linse in einem mikrolithographischen Projektionsobjektiv, dessen grundsätzlicher Aufbau noch unter Bezugnahme auf Fig. 2 erläutert wird.

15

Gemäß Fig. 1 ist das optische Element 100 aus einem ersten Teilelement 10 in Form einer plankonvexen Linse und einem zweiten Teilelement 20 in Form einer planparallelen Platte aufgebaut, wobei die Lichteintrittsfläche des zweiten Teilelements 20 unmittelbar angrenzend an die Lichtaustrittsfläche des ersten Teilelements 10 angeordnet und vorzugsweise auf dieser aufgesprengt ist.

Ebenfalls in Fig. 1 schematisch dargestellt ist der Aufbau des zweiten Teilelements 20 aus insgesamt vier Teilbereichen in Form von planparallelen Teilplatten 21, 22, 23 und 24. Dabei weisen die erste Teilplatte 21 und die zweite Teilplatte 22 jeweils einen (111)-Kristallschnitt auf und sind gegeneinander um 60° (oder allgemein $60^\circ + k \cdot 120^\circ$, $k=0,1,2,\dots$) um die Elementachse (die in Fig. 1 mit der optischen Achse OA übereinstimmt) verdreht angeordnet. Die dritte Teilplatte 23 und die vierte Teilplatte 24 weisen jeweils einen (100)-Kristallschnitt auf und sind gegeneinander um 45° (oder all-

30

gemein $45^\circ + l \cdot 90^\circ$, $l=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet.

In einer weiteren Ausführung weist das zweite Teilelement 20 insgesamt zwei Teilbereiche auf, welche den gleichen Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um die Elementachse verdreht angeordnet sind. Beispielsweise können diese Teilbereiche jeweils einen (100)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $45^\circ + l \cdot 90^\circ$ ($l=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sein, oder die Teilbereiche können jeweils einen (111)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $60^\circ + k \cdot 120^\circ$ ($k=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sein.

Das erste Teilelement 10 ist aus einem kubisch kristallinen Material mit einer solchen Brechzahl hergestellt, die in Abhängigkeit von der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems so gewählt ist, dass die Differenz ($n-NA$) zwischen dieser Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.

Legt man eine beispielhafte numerische Apertur des Projektionsobjektivs von $NA=1.5$ zugrunde, so beträgt somit die Brechzahl n des kubisch kristallinen Materials des ersten Teilelements maximal $n=1.7$.

Eine Auflistung über erfindungsgemäß besonders geeignete Materialien gibt die nachfolgende Tabelle 1. Dabei ist in Spalte 2 jeweils die zu dem Kristallmaterial gehörige Brechzahl n_d bei der Wellenlänge $\lambda=589\text{nm}$ angegeben; hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Brechzahl bei einer gebräuchlichen Arbeitswellenlänge von $\lambda=193\text{nm}$ typischerweise um etwa 0.1 größer ist.

Tabelle 1:

Material	Brechzahl n_d (bei $\lambda=589\text{nm}$)
$7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{CaO}$	1.608
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$	1.603
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$	1.701
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$	1.540
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{K}$	
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.604
$\text{CaNa}_2\text{SiO}_4$	1.60
$\text{CaNa}_4\text{Si}_3\text{O}_9$	1.571
$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	1.5667
$\text{MgONa}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	1.523
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1.595

5

Gemäß Fig. 2 weist eine Projektionsbelichtungsanlage 200 eine
 Beleuchtungseinrichtung 201 und ein Projektionsobjektiv 202
 auf. Das Projektionsobjektiv 202 umfasst eine Linsenanordnung
 203 mit einer Aperturblende AP, wobei durch die lediglich
 10 schematisch angedeutete Linsenanordnung 203 eine optische
 Achse OA definiert wird. Zwischen der Beleuchtungseinrichtung
 201 und dem Projektionsobjektiv 202 ist eine Maske 204 ange-
 ordnet, die mittels eines Maskenhalters 205 im Strahlengang
 gehalten wird. Solche in der Mikrolithographie verwendeten
 15 Masken 204 weisen eine Struktur im Mikrometer- bis Nanometer-
 Bereich auf, die mittels des Projektionsobjektives 202 bei-

spielsweise um den Faktor 4 oder 5 verkleinert auf eine Bildebene IP abgebildet wird. In der Bildebene IP wird ein durch einen Substrathalter 207 positioniertes lichtempfindliches Substrat 206, bzw. ein Wafer, gehalten. Die noch auflösbaren minimalen Strukturen hängen von der Wellenlänge λ des für die Beleuchtung verwendeten Lichtes sowie von der bildseitigen numerischen Apertur des Projektionsobjektives 202 ab, wobei die maximal erreichbare Auflösung der Projektionsbelichtungsanlage 200 mit abnehmender Wellenlänge λ der Beleuchtungseinrichtung 201 und mit zunehmender bildseitiger numerischer Apertur des Projektionsobjektivs 202 steigt.

Das Projektionsobjektiv 202 ist als Abbildungssystem gemäß der vorliegenden Erfindung ausgestaltet. In Fig. 2 ist lediglich schematisch eine mögliche, ungefähre Position eines erfindungsgemäßen optischen Elements 100 gestrichelt angedeutet, wobei das optische Element hier gemäß einer bevorzugten Ausführungsform das bildseitig letzte optische Element des Projektionsobjektives 202 und somit im Bereich relativ hoher Aperturwinkel angeordnet ist. Das optische Element weist den anhand von Fig. 1 erläuterten Aufbau auf und ist somit insbesondere aus einem ersten Teilelement 10 in Form einer plankonvexen Linse und einem zweiten Teilelement 20 in Form einer planparallelen Platte gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen aufgebaut.

Wenn die Erfindung auch anhand spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, erschließen sich für den Fachmann zahlreiche Variationen und alternative Ausführungsformen, z.B. durch Kombination und/oder Austausch von Merkmalen einzelner Ausführungsformen. Dementsprechend versteht es sich für den Fachmann, dass derartige Variationen und alternative Ausführungsformen von der vorliegenden Erfindung mit umfasst sind,

und die Reichweite der Erfindung nur im Sinne der beigefügten Patentansprüche und deren Äquivalente beschränkt ist.

Patentansprüche

1. Abbildungssystem, insbesondere Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit
- wenigstens einem optischen Element (100), welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n größer als 1.6 hat;
 - und einer bildseitigen numerischen Apertur NA , welche kleiner als die Brechzahl n ist;
 - wobei die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.
2. Abbildungssystem, insbesondere Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit
- wenigstens einem optischen Element (100), welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n hat;
 - und einer bildseitigen numerischen Apertur NA von wenigstens 1.50;
 - wobei die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.
3. Abbildungssystem, insbesondere Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage, mit
- wenigstens einem optischen Element (100), welches ein kubisches Kristallmaterial aufweist, das bei

einer vorgegebenen Arbeitswellenlänge eine Brechzahl n hat und eine plane Lichtaustrittsfläche aufweist;

- und einer bildseitigen numerischen Apertur NA , welche kleiner als die Brechzahl n ist;
- wobei die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA des Abbildungssystems maximal 0.2 beträgt.

4. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz $(n-NA)$ zwischen der Brechzahl n und der numerischen Apertur NA im Bereich von 0.05 bis 0.20, vorzugsweise im Bereich von 0.05 bis 0.15, und besonders bevorzugt im Bereich von 0.05 bis 0.10, liegt.

5. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kristallmaterial ein Oxid aufweist.

6. Abbildungssystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kristallmaterial Saphir (Al_2O_3) und ein Kalium- oder Kalziumoxid aufweist.

7. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kristallmaterial wenigstens ein Material aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die $7Al_2O_3 \cdot 12CaO$, $Al_2O_3 \cdot K_2O$, $Al_2O_3 \cdot 3CaO$, $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot KO$, $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2K$ und $Al_2O_3 \cdot 3CaO \cdot 6H_2O$ enthält.

8. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kris-

tallmaterial Kalzium, Natrium und Siliziumoxid aufweist.

- 5 9. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kristallmaterial wenigstens ein Material aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die $\text{CaNa}_2\text{SiO}_4$ und $\text{CaNa}_4\text{Si}_3\text{O}_9$ enthält.
- 10 10. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kristallmaterial wenigstens ein Material aufweist, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{MgONa}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ enthält.
- 15 11. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element (100) eine bildseitig letzte brechende Linse des Abbildungssystems ist.
- 20 12. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element (100) aus einem ersten Teilelement (10) mit Brechkraft und einem zweiten, im Wesentlichen brechkraftlosen
- 25 Teilelement (20) zusammengesetzt ist.
13. Abbildungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Teilelement (10) eine im Wesentlichen plankonvexe Linse ist.
- 30 14. Abbildungssystem nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Teilelement (20) eine planparallele Platte ist.

15. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das kubische Kristallmaterial im dem ersten Teilelement (10) vorgesehen ist, wobei in dem zweiten, im Wesentlichen brechkraftlosen Teilelement (20) ein zweites Material mit größerer Brechzahl als das Material in dem ersten Teilelement (10) vorgesehen ist.
16. Abbildungssystem nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Material aus der Gruppe ausgewählt ist, die Magnesiumspinel (MgAl_2O_4), Yttriumaluminiumgranat ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), Magnesiumoxid (MgO) und Scandiumaluminiumgranat ($\text{Sc}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$) enthält.
17. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Teilelement (20) eine Elementachse und wenigstens zwei Teilbereiche (21, 22) aufweist, welche den gleichen Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um die Elementachse verdreht angeordnet sind.
18. Abbildungssystem nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teilbereich (21) und der zweite Teilbereich (22) jeweils einen (111)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $60^\circ + k \cdot 120^\circ$ ($k=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sind.
19. Abbildungssystem nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Teilbereich und der zweite Teilbereich jeweils einen (100)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $45^\circ + l \cdot 90^\circ$ ($l=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sind.

20. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Teilelement eine Elementachse und wenigstens vier Teilbereiche (21-24) aufweist, wobei ein erster Teilbereich (21) und ein zweiter Teilbereich (22) jeweils einen (111)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $60^\circ + k \cdot 120^\circ$ ($k=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sind, und wobei ein dritter Teilbereich (23) und ein vierter Teilbereich (24) jeweils einen (100)-Kristallschnitt aufweisen und gegeneinander um $45^\circ + l \cdot 90^\circ$ ($l=0,1,2,\dots$) um die Elementachse verdreht angeordnet sind.
21. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitswellenlänge weniger als 250 nm, bevorzugt weniger als 200 nm, und noch bevorzugter weniger als 160 nm beträgt.
22. Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage mit einem Projektionsobjektiv, welches ein Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche ist.
23. Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:
- Bereitstellen eines Substrats (206), auf das zumindest teilweise eine Schicht aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist;
 - Bereitstellen einer Maske (204), die abzubildende Strukturen aufweist;
 - Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage (200) nach Anspruch 22;

- Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (204) auf einen Bereich der Schicht mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage (200).

5 24. Mikrostrukturiertes Bauelement, das nach einem Verfahren gemäß Anspruch 23 hergestellt ist.

25. Verwendung eines Materials als Ausgangsmaterial zur Herstellung eines optischen Elements (100) in einem Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (200), wobei das Material aus der Gruppe ausgewählt ist, welche $7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{CaO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{K}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaNa}_2\text{SiO}_4$, $\text{CaNa}_4\text{Si}_3\text{O}_9$, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, $\text{MgONa}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ und $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ enthält.

10

15

Fig. 1

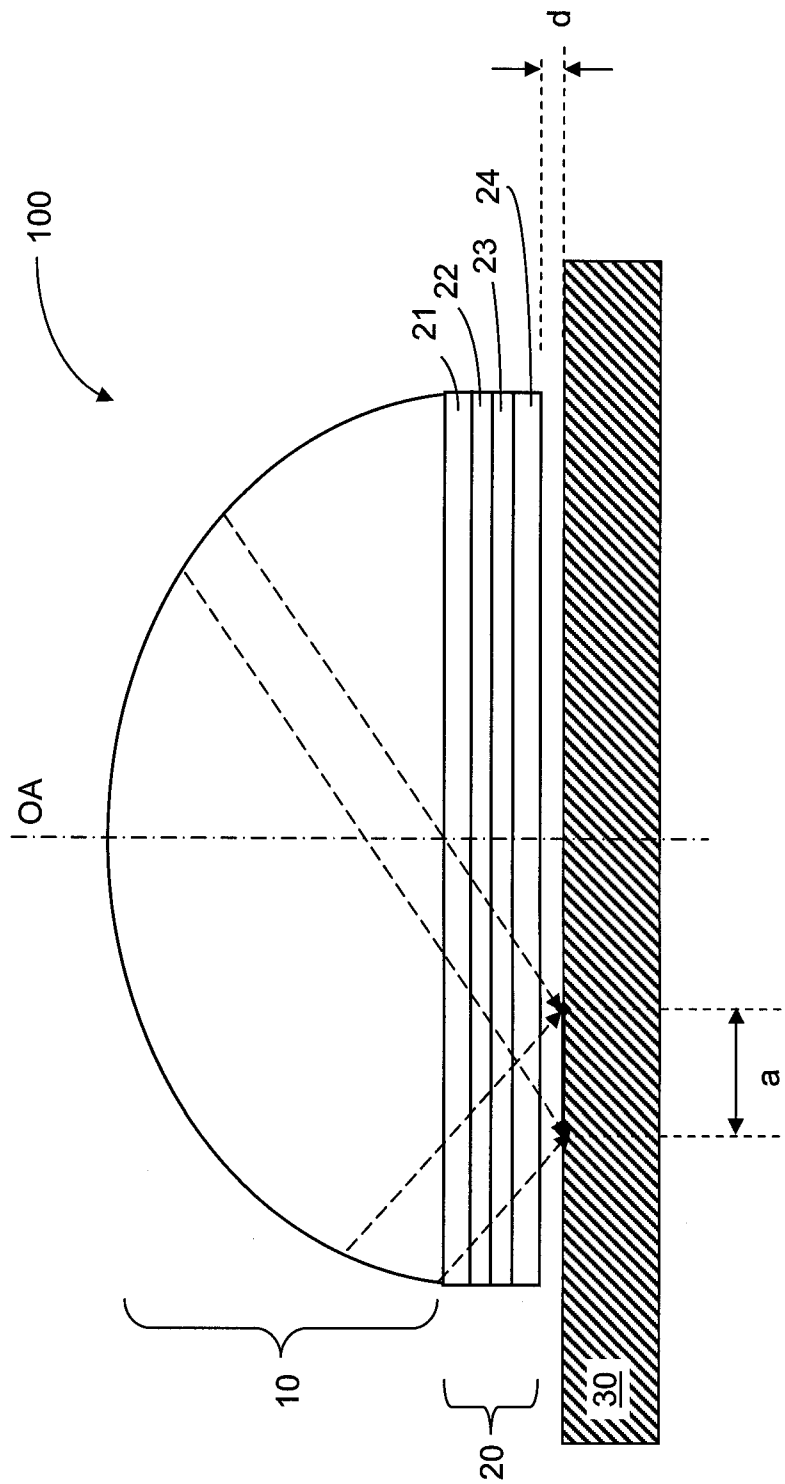
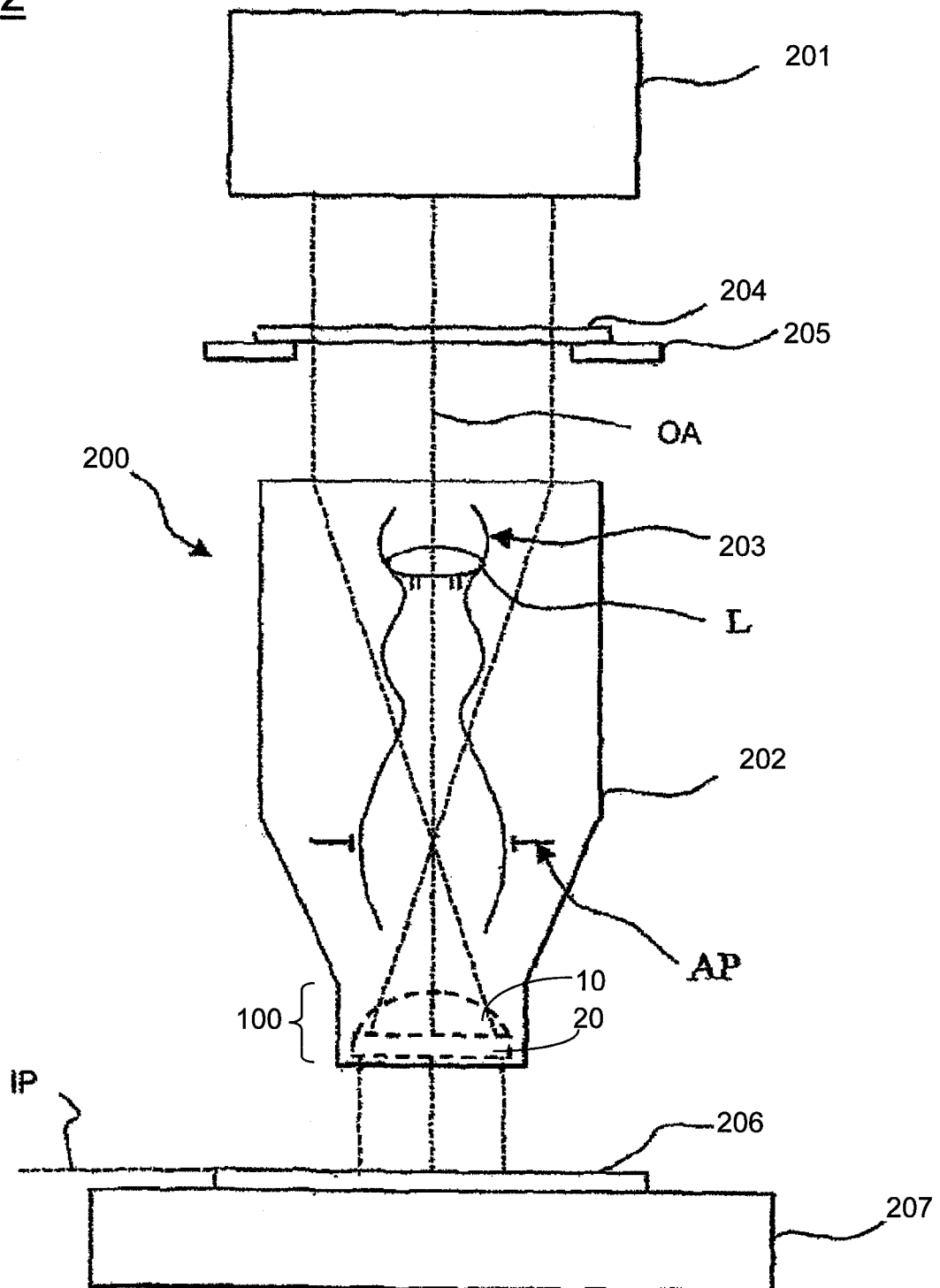


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/065070

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G03F7/20 G02B1/00

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)
G03F G02B

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2005/059617 A2 (ZEISS CARL SMT AG [DE]; BEDER SUSANNE [DE]; SINGER WOLFGANG [DE]) 30 June 2005 (2005-06-30)	1-5, 11-15, 17-24
Y	page 2, lines 16-28 page 13, lines 5-11; figure 5; table 5	6-10, 16, 25
X	US 2005/030506 A1 (SCHUSTER KARL-HEINZ [DE]) 10 February 2005 (2005-02-10) paragraphs [0030], [0037], [0041]	2, 3, 22-24
X	US 2005/117224 A1 (SHAFER DAVID R [US] ET AL) 2 June 2005 (2005-06-02) paragraphs [0075], [0111], [0143]; figure 9a	2, 3
	----- -/--	

☒ 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 document 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

13 November 2006

Date of mailing of the international search report

01/12/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Eisner, Klaus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/065070

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2005/006417 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]; KIUCHI TORU [JP]; MIYAKE TOSHIHIRO [JP]) 20 January 2005 (2005-01-20) the whole document	3
P,X	-& EP 1 646 074 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 12 April 2006 (2006-04-12) paragraphs [0030], [0079], [0166] -----	3
Y	SCHOLZE H.: "Glas - Natur, Struktur und Eigenschaften" 1988, SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG , BERLIN HEIDELBERG GERMANY , XP002406885 dritte Auflage, Kapitel 2.6.1, Seite 121 - 140 -----	6-10,16, 25
A	US 2003/027349 A1 (OOKUBO KENJI [JP]) 6 February 2003 (2003-02-06) paragraphs [0001], [0069], [0070] -----	25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/065070

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2005059617 A2	30-06-2005	EP 1697798 A2	06-09-2006
US 2005030506 A1	10-02-2005	NONE	
US 2005117224 A1	02-06-2005	NONE	
WO 2005006417 A	20-01-2005	EP 1646074 A1	12-04-2006
		KR 20060026947 A	24-03-2006
		US 2006209278 A1	21-09-2006
EP 1646074 A	12-04-2006	WO 2005006417 A1	20-01-2005
		KR 20060026947 A	24-03-2006
		US 2006209278 A1	21-09-2006
US 2003027349 A1	06-02-2003	EP 1310458 A2	14-05-2003
		JP 2003021619 A	24-01-2003
		US 2006153263 A1	13-07-2006

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G03F7/20 G02B1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G03F G02B

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, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2005/059617 A2 (ZEISS CARL SMT AG [DE]; BEDER SUSANNE [DE]; SINGER WOLFGANG [DE]) 30. Juni 2005 (2005-06-30)	1-5, 11-15, 17-24
Y	Seite 2, Zeilen 16-28 Seite 13, Zeilen 5-11; Abbildung 5; Tabelle 5	6-10, 16, 25
X	US 2005/030506 A1 (SCHUSTER KARL-HEINZ [DE]) 10. Februar 2005 (2005-02-10) Absätze [0030], [0037], [0041]	2,3, 22-24
X	US 2005/117224 A1 (SHAFFER DAVID R [US] ET AL) 2. Juni 2005 (2005-06-02) Absätze [0075], [0111], [0143]; Abbildung 9a	2,3
	----- -/--	

☒ 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" älteres Dokument, 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 anderen 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

13. November 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/12/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Eisner, Klaus

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2005/006417 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]; KIUCHI TORU [JP]; MIYAKE TOSHIHIRO [JP]) 20. Januar 2005 (2005-01-20) das ganze Dokument	3
P,X	-& EP 1 646 074 A (NIPPON KOGAKU KK [JP]) 12. April 2006 (2006-04-12) Absätze [0030], [0079], [0166]	3
Y	SCHOLZE H.: "Glas - Natur, Struktur und Eigenschaften" 1988, SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG , BERLIN HEIDELBERG GERMANY , XP002406885 dritte Auflage, Kapitel 2.6.1, Seite 121 - 140	6-10,16, 25
A	US 2003/027349 A1 (OOKUBO KENJI [JP]) 6. Februar 2003 (2003-02-06) Absätze [0001], [0069], [0070]	25

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/065070

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 2005059617	A2	30-06-2005	EP	1697798 A2	06-09-2006
US 2005030506	A1	10-02-2005	KEINE		
US 2005117224	A1	02-06-2005	KEINE		
WO 2005006417	A	20-01-2005	EP	1646074 A1	12-04-2006
			KR	20060026947 A	24-03-2006
			US	2006209278 A1	21-09-2006
EP 1646074	A	12-04-2006	WO	2005006417 A1	20-01-2005
			KR	20060026947 A	24-03-2006
			US	2006209278 A1	21-09-2006
US 2003027349	A1	06-02-2003	EP	1310458 A2	14-05-2003
			JP	2003021619 A	24-01-2003
			US	2006153263 A1	13-07-2006