

WO 2012/126983 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— mit geänderten Ansprüchen gemäss Artikel 19 Absatz 1

Die Erfindung betrifft einen optoakustischen Wandler (12) zur Wandlung von Wasserschallwellen (14) in ein modulierte optisches Signal (E) mit einem optisch wirksamen Bauelement (16), welches mit Licht (S) und Wasserschallwellen (14) beaufschlagbar ist zur Erzeugung des modulierten optischen Signals (E), wobei der Signalverlauf dieses optischen Signals (E) abhängig vom Signalverlauf eines von den Wasserschallwellen erzeugten hydroakustischen Signals ist. Erfindungsgemäss wird ein photonischer Kristall als optisch wirksames Bauelement (16) vorgeschlagen. Hierdurch ist eine sehr kleine Bauform optoakustischer Wandler möglich, die zudem mechanisch stabil und störunanfällig sind. Die Erfindung betrifft ferner eine Hydrophonanordnung (10) mit derartigen optoakustischen Wandlern (12).

Optoakustischer Wandler sowie Hydrophonanordnung mit derartigem oder derartigen Wandlern

Die Erfindung betrifft einen optoakustischen Wandler gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie eine Hydrophonanordnung mit einem oder mehreren derartigen optoakustischen Wandlern.

- 5 In der Hydroakustik werden herkömmlicherweise neben elektroakustischen Wandlern in jüngerer Zeit versuchsweise auch optoakustische Wandler eingesetzt, welche auf den Wandler auftreffende Wasserschallwellen in ein moduliertes optisches Signal umwandeln. Die Druckschwankungen der Wasserschallwelle modulieren ein eingespeistes Lichtsignal derart, dass diese Änderungen mit
- 10 Hilfe der Signalverarbeitung entsprechend akustischer Frequenzen zugeordnet werden können. Die Modulation kann die Amplitude und/oder die Phase betreffen. Herkömmlicherweise wird hierzu ein optisch wirksames Bauelement in Form einer Lichtwellenleiterspule verwendet. Diese Lichtwellenleiterspule wird dabei dem Wasserschallfeld ausgesetzt, während gleichzeitig die Lichtwellenleiterspule
- 15 von einem Laserlicht durchdrungen wird. Die Schallwelle ändert dabei die Länge des Lichtwellenleiters, wenngleich auch in geringem Ausmaß, sowie den Brechungsindex innerhalb des Lichtwellenleiters. Diese Änderungen sind an einem Lichtsensor detektierbar. Sie können schließlich wieder in elektrische Signale umgewandelt und diese elektrischen Signale sodann digitalisiert und einer elekt-
- 20 ronischen Signalverarbeitung zugeführt werden, um das Unterwasserschallsignal elektronisch verarbeiten zu können. Insbesondere finden derartige optoakustische Wandler Verwendung in Sonaranlagen zum Empfangen von Schallwellen im Wasser.

Ein Nachteil derartiger Lichtwellenleiterspulen besteht jedoch darin, dass sie groß und mechanisch instabil sind. Sie sind daher für bestimmte Wasserschallantennen, insbesondere für dünne Schleppantennen nicht geeignet.

- 5 Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, optoakustische Wandler bzw. daraus aufgebaute Hydrophonanordnungen bereitzustellen, die kleinere Strukturen aufweisen.

Die Erfindung löst dieses Problem mittels eines optoakustischen Wandlers gemäß Anspruch 1 bzw. mit einer Hydrophonanordnung gemäß Anspruch 6.

Im Einzelnen weist daher ein optoakustischer Wandler zur Wandlung von Wasserschallwellen in ein modulierte optisches Signal einen photonischen Kristall als optisch wirksames Bauelement auf, welches mit Licht und Wasserschallwellen beaufschlagt ein modulierte optisches Signal erzeugt, dessen Signalverlauf abhängig vom Signalverlauf eines von den Wasserschallwellen erzeugten hydroakustischen Signals ist. Das den photonischen Kristall beaufschlagende Licht bildet dabei einen Träger, der von dem hydroakustischen Signal und damit von den Wasserschallwellen moduliert wird.

20 Ferner löst die Erfindung das vorstehende Problem mit einer Hydrophonanordnung mit einem oder mehreren derartigen optoakustischen Wandlern sowie einer oder mehrerer Lichtquellen zur Erzeugung des den bzw. die photonischen Kristall(e) beaufschlagenden Lichts und einem oder mehreren Lichtsensoren, insbesondere Photodioden, zum Empfangen von vom photonischen Kristall bzw. den photonischen Kristallen reflektiertem Licht oder von durch den photonischen Kristall bzw. die photonischen Kristalle transmittiertem Licht und zum Erzeugen eines elektrischen Signals in Abhängigkeit des empfangenen Lichts.

30 Dank der Erfindung ist eine kleinere Bauform von optoakustischen Wandlern realisierbar, die insbesondere für akustische Antennen mit geringer Ausdehnung zumindest in einer Dimension oder zwei Dimensionen geeignet ist, insbesondere für Linearantennen bzw. Schleppantennen. Aufgrund der geringen Größe bzw. kleinen Bauform der optoakustischen Wandler sind diese Wandler zudem me-

chanisch stabil und weisen aufgrund der mechanischen Stabilität eine geringe Störanfälligkeit auf. Die mechanische Stabilität ist insbesondere im Hinblick auf Unterwasseranwendungen von nicht unerheblicher Bedeutung, da derartige Antennen aufgrund ihrer Anwendung auf Wasserfahrzeugen, insbesondere Oberflächen-
5 flächenschiffen und Unterseebooten, besonderen Belastungen ausgesetzt sind.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass photonische Kristalle bei Druckänderung ihr Reflektionsvermögen bzw. Transmissionsvermögen verändern und diese Veränderungen detektierbar sind. Somit kann der auf einen photonischen Kristall einfallende Schalldruck in ein optisches Signal umgewandelt
10 werden, welches über eine entsprechende Lichtstrecke, insbesondere Lichtwellenleiter, einer Auswerteelektronik zugeführt werden kann, um das somit erfasste akustische Signal weiter zu verarbeiten.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform weist der photonische Kristall eine periodische Gitterstruktur mit wenigstens einer Gitter-Strukturkonstanten auf, die im Bereich der Wellenlänge, der halben Wellenlänge oder eines Viertels der Wellenlänge des den photonischen Kristalls beaufschlagenden Lichts liegt bzw. der Wellenlänge, der halben Wellenlänge oder eines Viertels der Wellenlänge des
20 den photonischen Kristalls beaufschlagenden Lichts entspricht. Die Gitterstruktur des photonischen Kristalls wird daher derart bemessen, dass sie an die Wellenlänge des den photonischen Kristall beaufschlagenden Lichts angepasst ist. Die Anpassung der Lichtquelle an die Strukturgröße ist ebenfalls möglich. Somit ergibt sich ein vorteilhaft ausnutzbarer spezifischer Verlauf des Reflektionsgrades
25 bzw. des Transmissionsgrades des photonischen Kristalls in Abhängigkeit der Lichtwellenlänge innerhalb dieses Bereichs.

Die Gitterstruktur und damit auch die Gitter-Strukturkonstante bzw. Gitter-Strukturkonstanten können im Herstellungsprozess der photonischen Kristalle
30 bestimmt werden. Insbesondere eignen sich daher zur Herstellung derartiger photonischer Kristalle lithografische Verfahren oder Sedimentationsverfahren oder spezielle Laserbestrahlung entsprechender Ausgangsmaterialien, um photonische Kristalle einer bestimmten Struktur herzustellen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist der photonische Kristalle einen von der Wellenlänge des beaufschlagenden Lichts abhängigen Verlauf des optischen Reflektionsgrades auf, der bei steigender Wellenlänge von einem ersten Bereich minimalen Reflektionsgrades bis zu einem Bereich maximalen Reflektionsgrades ansteigt und bei weiter steigender Wellenlänge bis zu einem zweiten Bereich minimalen Reflektionsgrades abfällt. Bei diesen genannten minimalen bzw. maximalen Reflektionsgraden kann es sich entweder um globale oder lokale Maxima bzw. Minima im Verlauf des Reflektionsgrades handeln.

10

Das den photonischen Kristall beaufschlagende Licht ist vorzugsweise monochromatisches Licht einer vorbestimmten Wellenlänge oder polychromatisches Licht mit mehreren vorbestimmten Wellenlängen. Alternativ kann auch Licht mit einem schmalbandigen Wellenlängenbereich verwendet werden. Die o.g. Strukturkonstante ist dabei derart an diese Wellenlänge bzw. die mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich angepasst, dass der optische Reflektionsgrad für diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich zwischen dem Bereich maximalen Reflektionsgrades und dem ersten und/oder zweiten Bereich minimalen Reflektionsgrad liegt, insbesondere in einem Bereich, in dem die erste Ableitung des Reflektionsgrades nach der Wellenlänge einen lokalen oder globalen Extremwert annimmt und/oder die zweite Ableitung des Reflektionsgrades nach der Wellenlänge Null ist. Auf diese Weise kann der Arbeitspunkt derart gewählt werden, dass das den photonischen Kristall beaufschlagende Licht eine Wellenlänge aufweist, die an einer besonders steilen Flanke des Verlaufs des optischen Reflektionsgrades über die Wellenlänge liegt. Eine derartig steile Flanke bewirkt, dass bereits kleinste Verschiebungen des Kurvenverlaufs des Reflektionsgrades infolge von Druckänderungen am photonischen Kristall zu einer hohen Sensitivität des Wandlers führen, so dass der Wandler auch bei kleinen Schalldruckänderungen bereits ein brauchbares Nutzsignal liefert.

30

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform wird alternativ oder zusätzlich zum Reflektionsvermögen das Transmissionsvermögen des photonischen Kristalls ausgenutzt. Bevorzugt weist der photonische Kristall einen von der Wellen-

länge des beaufschlagenden Lichts abhängigen Verlauf des optischen Transmissionsgrades auf, der bei steigender Wellenlänge von einem ersten Bereich maximalen Transmissionsgrades bis zu einem Bereich minimalen Transmissionsgrades abfällt und bei weiter steigender Wellenlänge bis zu einem zweiten Bereich maximalen Transmissionsgrades ansteigt. Wiederum kann es sich bei diesen Minima bzw. Maxima entweder um lokale oder globale Minima bzw. Maxima handeln.

Wiederum ist das beaufschlagende Licht monochromatisches Licht einer vorbestimmten Wellenlänge oder polychromatisches Licht mit mehreren vorbestimmten Wellenlängen oder Licht mit einem schmalbandigen Wellenlängenbereich. Dabei ist wiederum die wenigstens eine Strukturkonstante derart an diese Wellenlänge bzw. die mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich angepasst, dass der optische Transmissionsgrad für diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich zwischen dem Bereich minimalen Transmissionsgrades und dem ersten und/oder zweiten Bereich maximalen Transmissionsgrades liegt, insbesondere in einem Bereich, in dem die erste Ableitung des Transmissionsgrades nach der Wellenlänge einen lokalen oder globalen Extremwert und/oder die zweite Ableitung des Transmissionsgrades nach der Wellenlänge Null ist. Auch bei dieser Ausführungsform kann somit eine steile Flanke im Verlauf des Transmissionsgrades als Arbeitspunkt bzw. Bereich des Arbeitspunktes ausgewählt werden, so dass bereits eine geringfügige Verschiebung des Verlaufs des Transmissionsgrades infolge einer Schalldruckänderung zu einem signifikanten Ändern des optischen Signals führt. Auch die Ausnutzung des Transmissionsverhaltens führt somit zu einem Wandler mit einer hohen Sensitivität.

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform weist der photonische Kristall an vorbestimmten Bereichen vorbestimmte Defekte bzw. vorbestimmten Unregelmäßigkeiten auf. Der gezielte Einbau derartiger Defekte bzw. Unregelmäßigkeiten in die Struktur des photonischen Kristalls ergibt einen sehr schmalen Frequenzbereich innerhalb des Bereichs der vorstehend beschriebenen steilen Flanken, der Licht transmittiert und somit nur gering reflektiert. Auf diese Weise ergibt sich im Verlauf des Reflektionsgrades bzw. Transmissionsgrades ein wei-

teres Minimum bzw. Maximum mit steilen Flanken im Übergangsbereich zu diesem Minimum bzw. Maximum. Diese zusätzlichen steilen Flanken eignen sich besonders für die Wahl eines Arbeitspunktes, bei dem der photonische Kristall betrieben werden kann, d.h. der Wahl der Wellenlänge bzw. mehrerer Wellenlängen bzw. eines schmalbandigen Wellenlängenbereichs, mit der bzw. dem der photonische Kristall mit Licht beaufschlagt wird.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Hydrophonanordnung wird das vom Lichtsensor erzeugte elektrische Signal einem Hochpassfilter zugeführt. Dies ist vorteilhaft, da auf diese Weise ein gleichanteilsfreies Signal erzeugt wird. Ein Gleichanteil im Verlauf des elektrischen Signals ergibt sich insbesondere durch den hydrostatischen Druck im Wasser, d.h. insbesondere infolge der Tauchtiefe der Hydrophonanordnung. Die Tauchtiefe ändert sich jedoch im Vergleich zur Frequenz einfallender Schallwellen sehr langsam. Daher kann durch eine Hochpassfilterung der Einfluss einer etwaigen Tauchtiefenänderung eliminiert werden. Somit eignen sich derartige Hydrophonanordnungen, insbesondere für den Einsatz von Schleppantennen an Unterseebooten, welche unterschiedlichen Tauchtiefen ausgesetzt sind.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass zusätzlich oder alternativ das dem Lichtsensor zugeführte optische Signal zunächst einer optischen Hochpassfilterung unterworfen wird. Hierdurch wird eine Wirkung analog dem Hochpass für das elektrische Signal erzielt.

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform der Hydrophonanordnung ist die Lichtwelle bzw. sind die Lichtquellen bzgl. der von ihr/ihnen erzeugten Wellenlänge(n) einstellbar. Dabei wird die Wellenlänge bzw. werden die Wellenlängen in Abhängigkeit der Tauchtiefe der Hydrophonanordnung gesteuert. Vorzugsweise wird die Wellenlänge bzw. werden die Wellenlängen bei größer werdender Tauchtiefe, d.h. bei steigendem Druck und damit kleiner werdenden Gitter-Strukturkonstanten, reduziert und bei kleiner werdender Tauchtiefe erhöht. Auf diese Weise kann trotz einer mit der Tauchtiefe variierenden Lage des Verlaufs des Reflektionsgrades bzw. des Transmissionsgrades hin zu niedrigeren Wellenlängen bzw. höheren Wellenlängen kompensiert werden, so dass der ge-

wählte bzw. die gewählten Arbeitspunkte bei einem im Wesentlichen gleichen Reflektionsgrad bzw. Transmissionsgrad gehalten werden können, auch wenn sich der Umgebungsdruck ändert. Somit kann ein Nutzsignal des Wandlers, insbesondere das optische Signal des Wandlers im Wesentlichen mit gleicher Qualität erzeugt werden.

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform ist eine Vielzahl von photonischen Kristallen innerhalb einer Schleppantenne einer Sonaranlage angeordnet, wobei diese photonischen Kristalle über Lichtwellenleiter mit der bzw. den Lichtquelle(n) und dem bzw. den Lichtsensor(en) verbunden sind. Eine derartige Ausführungsform ist vorteilhaft, da dank der Lichtwellenleiter die Lichtquelle(n) und der/die Lichtsensor(en) außerhalb der Schleppantenne, zumindest aber außerhalb des akustischen Teils einer Schleppantenne anordbar sind. Somit sind in diesem Teil der Schleppantenne keine elektrischen Leitungen notwendig. Dies ermöglicht eine schlanke Bauform von Schleppantennen, welche wiederum vorteilhaft ist, da für schlanke Schleppantennen kleinere Radien einer Trommel zum Aufwickeln der Schleppantenne möglich sind. Somit kann die Trommel zum Aufwickeln der Schleppantenne mit geringerem Durchmesser ausgebildet werden. Des Weiteren reduziert eine schlanke Bauform einer Schleppantenne die Gefahr von Beschädigungen der Schleppantenne beim Aufrollen, welche insbesondere durch ein Einknicken eines umhüllenden Schlauches gegeben ist.

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform weist die Hydrophonanordnung eine Gruppe von photonischen Kristallen auf, welche über einen Lichtwellenleiter miteinander zur Beaufschlagung mit Licht verbunden sind. Dabei sind die Strukturkonstanten dieser photonischen Kristalle innerhalb der Gruppe unterschiedlich. Ferner ist das diese photonischen Kristalle beaufschlagende Licht polychromatisch. Die Wellenlängen dieses polychromatischen Lichts sind dabei an die Strukturkonstanten der verschiedenen photonischen Kristalle angepasst. Eine derartige Ausgestaltung ist vorteilhaft, da somit eine Gruppe von Wandlern mit nur einem Lichtwellenleiter mit Licht beaufschlagt werden können. Dies reduziert die Anzahl notwendiger Lichtwellenleiter. Ferner ermöglicht dies eine individuelle Auswertung der Empfangssignale anhand der unterschiedlichen Lichtfarben bzw. Wellenlängen. D.h. auch die reflektierten bzw. transmittierten optischen

Signale können ebenfalls über denselben oder einen separaten Lichtwellenleiter zum Lichtsensor zurückgeführt werden. Insgesamt ermöglicht ein derartiger Aufbau daher aufgrund der geringen Anzahl benötigter Lichtwellenleiter ebenfalls einen schlanken Aufbau einer Hydrophananordnung.

5

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus den anhand der Zeichnung näher erläuterten Ausführungsbeispielen. In der Zeichnung zeigen:

10 Fig. 1 ein schematisches Diagramm einer Hydrophananordnung mit einem optoakustischen Wandler gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

15 Fig. 2 einen Verlauf des optischen Reflektionsgrades für die Anordnung gemäß Fig. 1;

Fig. 3 den zeitlichen Verlauf des Reflektionsgrades gemäß Fig. 2 im Falle einer Unterwasserschallbeaufschlagung eines optoakustischen Wandlers gemäß Fig. 1 bei verschiedenen Wasserdrücken;

20

Fig. 4 ein schematisches Diagramm zur Veranschaulichung einer Gruppe erfindungsgemäßer optoakustischer Wandler bei Ausnutzung der reflektierenden Eigenschaften eines erfindungsgemäßen optoakustischen Wandlers;

25

Fig. 5 ein schematisches Diagramm einer Hydrophananordnung mit einem optoakustischen Wandler gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

30 Fig. 6 einen Verlauf des optischen Transmissionsgrades für die Anordnung gemäß Fig. 5;

Fig. 7 ein schematisches Diagramm zur Veranschaulichung einer Gruppe erfindungsgemäßer optoakustischer Wandler bei Ausnutzung der

transmittierenden Eigenschaften eines erfindungsgemäßen optoakustischen Wandlers;

Fig. 8 einen photonischen Kristall mit einem planaren Defekt;

5

Fig. 9 den Verlauf des optischen Reflektionsgrades für einen photonischen Kristall gemäß Fig. 8 und

Fig. 10 den Verlauf des optischen Transmissionsgrades für einen photonischen Kristall gemäß Fig. 8.

10

Fig. 1 zeigt eine Hydrophonanordnung 10 mit einem optoakustischen Wandler 12, der Wasserschallwellen 14 ausgesetzt ist. Der optoakustische Wandler weist ein optisch wirksames Bauelement 16 in Form eines photonischen Kristalls auf. Hierbei handelt es sich um einen transparenten bzw. teiltransparenten Festkörper mit einer periodischen Struktur des Brechungsindex. Insbesondere sind derartige photonische Kristalle optische Metamaterialien, die aus verschiedenen optischen Materialien in unterschiedlichen Geometrien in der Größenordnung der Lichtwellenlänge aufgebaut sind. Mittels derartiger photonischer Kristalle lässt sich Licht filtern und leiten. Ein photonischer Kristall hat eine dreidimensionale Struktur. Trotz des Begriffs "photonischer Kristall" sind photonische Kristalle nicht zwingenderweise Kristallin. Vielmehr beruht der Begriff "photonischer Kristall" auf der Analogie zu Beugungs- und Reflexionseffekten von kurzwelliger elektromagnetischer Strahlung, nämlich Röntgenstrahlung, in Kristallen, welche auf deren Gitterkonstanten zurückgehen.

15

20

25

Derartige photonische Kristalle haben die Eigenschaft, dass Licht eines bestimmten Wellenlängenbereichs nicht durch die Struktur hindurch geleitet werden kann, wobei dieser Wellenlängenbereich von wenigstens einer Strukturkonstanten bestimmt ist, welche die periodische Gitterstruktur des photonischen Kristalls beschreibt. Bei dem photonischen Kristall handelt es sich um einen dreidimensional strukturierten Körper. Ein derartiger homogener photonischer Kristall 16 ist in Fig. 1 schematisch dargestellt.

30

Der photonische Kristall 16 wird jedoch nicht nur Wasserschallwellen 14 ausgesetzt, sondern auch mit Licht einer oder mehrerer bestimmter Wellenlängen oder Licht eines schmalbandigen Wellenlängenbereichs beaufschlagt. Hierzu wird dem photonischen Kristall ein Sendelichtstrahl S zugeführt, welches von einer
5 Lichtquelle 18, insbesondere einem monochromatischen oder polychromatischen Laser bzw. einer derartigen Laserdiode, erzeugt wird. Diese Lichtquelle 18 ist mittels einer Lichtquellensteuerung 20 steuerbar. Die Steuerbarkeit bezieht sich insbesondere auf die Intensität und/oder Dauer des Sendelichtstrahls S, die entweder begrenzt oder unbegrenzt sein kann, insbesondere einen gepulsten Lichtstrahl erzeugen kann. Die Steuerung 20 sowie die Lichtquelle 18 können jedoch
10 gemäß einem besonderen Ausführungsbeispiel derart ausgebildet sein, dass sie die Wellenlänge bzw. Wellenlängen bzw. die Lage des schmalbandigen Wellenlängenbereichs verändern kann. Alternativ ist diese Wellenlänge bzw. sind diese Wellenlängen bzw. der Wellenlängenbereich fest vorgegeben und nicht veränderbar, wodurch sich der Aufbau der Lichtquelle 18 und der Steuerung 20 vereinfachen lässt.

Der Lichtstrahl S gelangt über einen Lichtwellenleiter 22 zum optoakustischen Wandler 12. Innerhalb des optoakustischen Wandlers 12 wird der Lichtstrahl S
20 über einen weiteren Lichtwellenleiter 24, vorzugsweise über eine Optik 26 dem photonischen Kristall 16 zugeführt. Der photonische Kristall 16 reflektiert den somit einfallenden Lichtstrahl S. Der reflektierte Lichtstrahl E wird, vorzugsweise wieder über die Optik 26, und einen Lichtwellenleiter 28 aus dem optoakustischen Wandler 12 herausgeführt und gelangt über einen Lichtwellenleiter 30 zu
25 einem Lichtsensor 32. Der optoakustische Wandler 12 umfasst somit neben dem optisch wirksamen Bauelement in Form des photonischen Kristalls 16 auch einen oder mehrere Lichtwellenleiter 24, 28 sowie vorzugsweise eine Optik 26, die vorzugsweise allesamt in einem Gehäuse untergebracht bzw. gemeinsam in einer Vergussmasse vergossen sind. Erfindungsgemäß ist wenigstens eine Strukturkonstante der periodischen Gitterstruktur des photonischen Kristalls 16 an die
30 Wellenlänge bzw. die Wellenlängen des eintreffenden Lichtstrahls S angepasst.

Der Lichtsensor 32 wandelt das optische Signal in Form des Lichtstrahls E in ein elektrisches Signal 34 um, welches vorteilhafterweise einem Hochpassfilter 36

zugeführt wird, um einen Gleichanteil sowie tiefe Frequenzanteile des elektrischen Signals 34 herauszufiltern, so dass nur höherfrequente Anteile im elektrischen Signal verbleiben. Die Grenzfrequenz dieses Hochpassfilters 36 ist dabei derart gewählt, dass die niedrigsten erwarteten Frequenzen des Unterwasserschalls dieses Hochpassfilter 36 passieren können. Somit ist gewährleistet, dass das in Form der Wasserschallwellen 14 empfangene akustische Signal zunächst über eine optische Strecke als elektrisches Signal einer Signalverarbeitungseinrichtung 38 zugeführt wird.

10 Gemäß Fig. 1 wurden zwei getrennte Lichtwellenleiterstränge, nämlich Lichtwellenleiter 22, 24 für den Sendelichtstrahl S einerseits sowie Lichtwellenleiter 28, 30 für den Empfangslichtstrahl E andererseits, herangezogen. Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel genügt jedoch ein Lichtwellenleiter sowohl für den Transport des Sendelichtstrahls S als auch den Transport des Empfangslichtstrahls E. In diesem Fall kann auch die Optik 26 entfallen. Der optoakustische Wandler 12 enthält in diesem Fall lediglich das optisch wirksame Bauelement in Form des photonischen Kristalls 16 sowie einen einzigen Lichtwellenleiter, der aus einem Gehäuse bzw. Verguss des optoakustischen Wandlers 12 herausgeführt und mit einem weiteren Lichtwellenleiter verbunden ist, der zu einer Richtungstrennungseinheit (nicht dargestellt) führt, welche eine erste Verbindung zur Lichtquelle 18 sowie eine zweite Verbindung zum Lichtsensor 32 aufweist. Bei einem derartigen Ausführungsbeispiel reduziert sich die Anzahl der benötigten Lichtwellenleiter.

25 Fig. 2 veranschaulicht den Verlauf des Reflektionsgrades des photonischen Kristalls 16 in Abhängigkeit der Lichtwellenlänge λ .

Fig. 2 veranschaulicht, dass der Reflektionsgrad R von einem ersten Bereich 40 eines minimalen Reflektionsgrades stark anwächst bis zu einem Bereich maximalen Reflektionsgrades 42, um sodann wieder mit weiter steigender Lichtwellenlänge λ zu einem zweiten Bereich 44 minimalen Reflektionsgrades abzufallen. Der Anstieg des Reflektionsgrades R zwischen dem ersten Bereich 40 minimalen Reflektionsgrades sowie dem Bereich 42 maximalen Reflektionsgrades erfolgt sehr steil ebenso wie der Abfall vom Bereich 42 maximalen Reflektionsgrades

zum zweiten Bereich 44 minimalen Reflektionsgrades. Dem Bereich 42 maximalen Reflektionsgrades ist eine maximale Wellenlänge $\lambda_{\max}$ zugeordnet.

Die Lage von $\lambda_{\max}$ ebenso wie die Lage des Verlaufs der Kurve des Reflektionsgrades R verschiebt sich in Richtung kleinerer Wellenlängen λ , wenn der auf den photonischen Kristall 16 einwirkende Druck ansteigt. Umgekehrt verschiebt sich $\lambda_{\max}$ bzw. der Kurvenverlauf des Reflektionsgrades R in Richtung größerer Wellenlängen λ , wenn der Druck, der auf den photonischen Kristall 16 einwirkt, nachlässt.

Trifft nun eine Wasserschallwelle 14 auf den photonischen Kristall 16 kommt es zu einem Zittern, d.h. zu einem periodischen Verschieben des Verlaufs des Reflektionsgrades R in Richtung der horizontalen Achse. Dieses Zittern erfolgt mit der Frequenz der Wasserschallwellen 14.

Die wenigstens eine Strukturkonstante der Gitterstruktur des photonischen Kristalls ist derart an die Wellenlänge der Lichtquelle 18 angepasst, dass der Arbeitspunkt A, bei dem die Hydrophananordnung 12 betrieben wird, bei Fehlen von Wasserschallwellen 14 zwischen dem ersten Bereich 40 minimalen Reflektionsgrades bzw. dem zweiten Bereich 44 minimalen Reflektionsgrades und dem Bereich 42 maximalen Reflektionsgrades liegt. Auf der linken ansteigenden steilen Flanke des Verlaufs des Reflektionsgrades R ist dieser Arbeitspunkt A eingezeichnet. Ihm ist eine Lichtwellenlänge λ_{P1} zugeordnet, welche die Wellenlänge des Lichts der Lichtquelle 18 ist. Alternativ könnte der Arbeitspunkt auch auf der rechten, steil abfallenden Flanke des Verlaufs des Reflektionsgrades R, d.h. zwischen dem Bereich 42 und dem Bereich 44 liegen. Beide Lösungsalternativen sind im Wesentlichen gleichwertig.

Aus Kostengründen sind Standardlichtquellen, insbesondere Standardlaserdioden zu verwenden, die jedoch nur Licht einer bestimmten Frequenz aussenden, die nicht ohne weiteres veränderbar ist. Um gleichwohl einen Arbeitspunkt A in der vorstehend genannten Weise auf eine der steilen Flanken legen zu können, muss die Gitterstruktur des photonischen Kristalls entsprechend bestimmt wer-

den. Dies ist jedoch ohne weiteres möglich, da die Gitterstruktur des photonischen Kristalls erfindungsgemäß künstlich erzeugt wird, bzw. durch Sedimentation eines Ausgangsmaterials oder lithografischer Verfahren oder Laserbehandlung von optischen Materialien.

5

Alternativ kann jedoch auch die Wellenlänge λ_{R1} derart an eine bereits vorhandene periodische Gitterstruktur eines photonischen Kristalls angepasst werden, dass der Arbeitspunkt A auf den genannten steilen Flanken liegt. Wie bereits oben ausgeführt, setzt dies jedoch eine aufwändigere Lichtquelle 18 nebst Steuerung 20 voraus.

10

Die Wahl des Arbeitspunktes A auf einer der beiden steilen Flanken hat den Vorteil, dass bereits geringste Verschiebungen des Verlaufs des Reflektionsgrades R in Richtung der horizontalen Achse infolge von Schalldruckänderungen zu einer signifikanten Änderung des Reflektionsgrades R führen. Diese Änderungen des Reflektionsgrades führen zu einer periodischen Dämpfung des in Richtung des optoakustischen Wandlers 12 gesendeten Lichtstrahls S, so dass der Empfangslichtstrahl E periodisch und zwar in Abhängigkeit der Frequenz der Wasserschallwellen 14 schwankt und somit von den Wasserschallwellen 14 moduliert wird.

20

Die Wahl des Arbeitspunktes A auf einer der steilen Flanken führt somit zu einer Signalverstärkung bzw. einer hohen Sensitivität des photonischen Kristalls 16, wenn dieser dem hydroakustischen Schallfeld ausgesetzt wird.

25

Fig. 3 zeigt den zeitlichen Verlauf des Reflektionsgrades R bei Auftreffen einer Schallwelle mit der Frequenz f_S . Im Bereich des Zeitpunktes t_1 schwankt der Reflektionsgrad periodisch in einem ersten Bereich 46, während im Bereich eines späteren Zeitpunktes t_2 der Reflektionsgrad in einem zweiten Bereich 48 periodisch schwankt. Beide Bereiche unterscheiden sich in der mittleren Höhe des Reflektionsgrades, welche abhängig von der Tauchtiefe bzw. dem statischen Wasserdruck ist. Sofern der Arbeitspunkt auf der linken Flanke gemäß Fig. 2 gewählt ist, reduziert sich der mittlere Reflektionsgrad R bei kleineren Tauchtiefen, d.h. niedrigeren statischen Drücken, bzw. erhöht sich bei größeren Tauchtiefen.

30

fen. Sofern der Arbeitspunkt jedoch auf der abfallenden Flanke gemäß Fig. 2 gewählt wird, sind die Verhältnisse umgekehrt.

Fig. 4 veranschaulicht die Anordnung mehrerer optoakustischer Wandler in einer Reihe unter Ausnutzung der Reflektionseigenschaften der photonischen Kristalle. Fig. 4 zeigt daher eine Gruppe 50 optoakustischer Wandler 12, welche jeweils über optische Bauelemente 52 zur Richtungslenkung mit einem Lichtwellenleiter 54 verbunden sind, so dass von den optoakustischen Wandlern 12 reflektiertes Licht entgegen der Richtung des Sendelichtstrahls auf dem Lichtwellenleiter 54 zurückgeführt wird. Die photonischen Kristalle 16 dieser Wandler weisen untereinander jeweils unterschiedliche Strukturkonstanten auf, die an unterschiedliche Lichtwellenlängen λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} , λ_{R5} angepasst sind.

Eine derartige Anordnung ist erfindungsgemäß in einer Schleppantenne 56 untergebracht, von der ein Abschnitt in Fig. 4 gezeigt ist. Dank der Erfindung kann eine derartige Schleppantenne für eine Sonaranlage ohne elektrische Leitungen für den Anschluss der Wandler aufgebaut werden, da die Wandler 12 allein optisch verbunden sind und der entsprechende Lichtwellenleiter 54 aus der Schleppantenne 56 herausgeführt werden kann. Durch den Verzicht auf elektrische Leitungen kann die Schleppantenne 56 mit sehr geringem Durchmesser ausgebildet werden. Dies vereinfacht die Handhabbarkeit von Schleppantennen signifikant und ermöglicht insbesondere auch eine signifikante Reduzierung des Durchmessers einer Trommel, auf welche die Schleppantenne 56 aufgewickelt wird.

Fig. 5 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel zu Fig. 1, welches im Gegensatz zu Fig. 1, die auf das reflektive Verhalten des photonischen Kristalls 16 aufbaut, das transmissive Verhalten des photonischen Kristalls ausnutzt. Soweit Fig. 5 gleiche Bezugszeichen wie Fig. 1 verwendet, beziehen sich diese Bezugszeichen auf gleiche Sachverhalte, so dass auf die entsprechenden Ausführungen zu Fig. 1 verwiesen wird.

Der einfallende Lichtstrahl S gelangt wiederum über einen Lichtwellenleiter 22 zu dem optoakustischen Wandler 12, der einen photonischen Kristall 16 aufweist,

der dem in Fig. 1 gezeigten entspricht. Der Lichtwellenleiterabschnitt 24, der mit dem Lichtwellenleiter 22 verbunden ist und zu dem optoakustischen Wandler 12 gehört, ist direkt auf den photonischen Kristall 16 geführt. Auf der gegenüberliegenden Seite des photonischen Kristalls 16 führt der zum optoakustischen Wandler 12 gehörende Lichtwellenleiter 28 den transmittierten Lichtstrahl zum Lichtwellenleiter 30, der den Empfangslichtstrahl E zum Lichtsensor 32 führt.

Gemäß dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel wird somit die Transmission durch den photonischen Kristall 16 ausgenutzt.

10

Fig. 6 zeigt den Verlauf des Transmissionsgrades T. Der Transmissionsgrad T fällt von einem ersten Bereich 58 maximalen Transmissionsgrades T zu einem Bereich 60 minimalen Transmissionsgrades T ab, um dann wieder zu einem zweiten Bereich 62 maximalen Transmissionsgrades T anzusteigen.

15

Wiederum wird der Arbeitspunkt A vorzugsweise an einer der steilen Flanken des Verlaufs des Transmissionsgrades T gewählt, um die Sensitivität dieses Wandlers 12 zu erhöhen. Der Arbeitspunkt A liegt somit auf der Transmissionsgrad-Kurve zwischen dem ersten Bereich 58 bzw. dem zweiten Bereich 62 maximalen Transmissionsgrades sowie dem Bereich 60 minimalen Transmissionsgrades. Der Arbeitspunkt A wird so gewählt, dass er der Wellenlänge der Lichtquelle 18 λ_{T1} zugeordnet ist. D.h. die wenigstens eine Strukturkonstante des photonischen Kristalls 16 ist an die Wellenlänge λ_{T1} der Lichtquelle 18 angepasst.

25

Alternativ zu dem in Fig. 5 dargestellten Ausführungsbeispiel kann - wie bereits im Zusammenhang mit Fig. 1 erläutert - statt zweier separater Lichtwellenleiter 22, 30 zur Zuführung des Sendelichtstrahls S und zur Abführung des Empfangslichtstrahls E auch nur ein einzelner Lichtwellenleiter verwendet werden, wobei jedoch durch ein entsprechendes optisches Bauelemente der Lichtwellenleiter 28 des optoakustischen Wandlers 12 mit diesem einzelnen Lichtwellenleiter verbunden werden muss. Dieses optische Bauelement muss den transmittierten Lichtstrahl entgegen der Richtung des Sendelichtstrahls S in diesen einzelnen Lichtwellenleiter einkoppeln.

30

Fig. 7 zeigt wiederum eine Anordnung einer weiteren Gruppe 64 von optoakustischen Wandlern 12, welche jedoch derart verschaltet sind, um die transmissiven Eigenschaften der photonischen Kristalle 16 auszunutzen. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind analog zu dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel zwei separate Lichtwellenleiterstränge 66, 68 zur Zuführung des Sendelichtstrahls S bzw. zur entgegengerichteten Abführung des Empfangslichtstrahls E vorgesehen.

Sowohl in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 als auch in dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7 weisen die photonischen Kristalle der einzelnen optoakustischen Wandler 12 unterschiedliche Strukturkonstanten auf, so dass für jeden Wandler 12 ein anderer Arbeitspunkt mit unterschiedlicher Wellenlänge λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5} vorgesehen ist. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 7 sind die Arbeitspunkte bzw. die Wellenlängen λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5} der Lichtquelle 18 derart unterschiedlich gewählt, dass die Transmissionseigenschaften der jeweiligen Wandler 12 innerhalb der Gruppe 64 nicht diejenigen Wellenlängen substanziell dämpfen, welche von den weiteren nachgeschalteten Wandlern 12 benötigt werden. Vorteilhafterweise sind die entsprechenden Strukturkonstanten der photonischen Kristalle einer Gruppe daher derart weit auseinanderliegend gewählt, dass sich die in Fig. 6 veranschaulichten Einbrüche des Transmissionsgrades T in dem jeweiligen Bereich zwischen dem ersten Bereich 58 und zweiten Bereich 62 maximalen Transmissionsgrades nicht überlappen.

Fig. 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines photonischen Kristalls 16' mit einem planaren Defekt. Dieser Defekt ist durch ausgemalte Kreise veranschaulicht. Bei einem derartigen Defekt kann es sich beispielsweise um geometrische Unregelmäßigkeiten oder unterschiedliche Materialien handeln, welche zum Aufbau des photonischen Kristalls 16' verwendet worden sind. Derartige Defekte werden gezielt eingebaut. Ein derartiger Defekt führt bei einem sehr schmalen Wellenlängenbereich zu einem starken Einbruch des Reflektionsgrades R' bzw. einem starken Anstieg des Transmissionsgrades T', wie in den Fig. 9 bzw. 10 veranschaulicht. Gemäß Fig. 9 ergibt sich bei der Lichtwellenlänge $\lambda_{\min}$ ein minimaler Reflektionsgrad R', während entsprechend in Fig. 10 sich bei der Licht-

wellenlänge $\lambda_{\max}$ ein maximaler Transmissionsgrad T' ergibt. Der Arbeitspunkt A' ist jeweils an der zu der Wellenlänge $\lambda_{\min}$ bzw. $\lambda_{\max}$ benachbarten, sehr steilen Flanke bei der Wellenlänge λ_{R1}' bzw. λ_{T1}' vorgesehen. Durch derartig vorbestimmte Defekte kann auf vorteilhafte Weise die Sensitivität erfindungsgemäß
5 aufgebauter optoakustischer Wandler erhöht werden.

Die Erfindung hat erkannt, dass ein photonischer Kristall in besonders spezifischer Weise sein Reflektions- und/oder Transmissionsverhalten in Abhängigkeit von Umgebungsdruckänderungen ändert. Ein photonischer Kristall ist daher sen-
10 sitiv auf Druckänderungen, wie sie sich bspw. bei Unterwasserschall ergeben. Diese Sensitivität kann insbesondere dadurch gesteigert werden, dass eine Strukturkonstante der periodischen Gitterstruktur des photonischen Kristalls an die Wellenlänge des den photonischen Kristall bestrahlenden Lichts angepasst ist. Hierzu wird entweder die Gitterstruktur an die Frequenz des verwendeten
15 Lichts angepasst oder es wird die Frequenz des verwendeten Lichts an die Gitterstruktur angepasst.

Dank des erfindungsgemäßen optoakustischen Wandlers lassen sich sehr schlanke langgestreckte Hydrophananordnungen mit einer Vielzahl optoakustischer Wandler realisieren, wie sie bspw. in Schleppantennen von Sonaranlagen
20 Anwendung finden. Die Erfindung ermöglicht somit eine besonders dünne Ausgestaltung von Schleppantennen.

Alle in der vorgenannten Figurenbeschreibung, in den Ansprüchen und in der Beschreibungseinleitung genannten Merkmale sind sowohl einzeln als auch in
25 beliebiger Kombination miteinander einsetzbar. Die Offenbarung der Erfindung ist daher nicht auf die beschriebenen bzw. beanspruchten Merkmalskombinationen beschränkt. Vielmehr sind alle Merkmalskombinationen als offenbart zu betrachten.

Ansprüche

1. Optoakustischer Wandler zur Wandlung von Wasserschallwellen (14) in ein modulierte optisches Signal (E) mit einem optisch wirksamen Bauelement (16), welches mit Licht (S) und Wasserschallwellen (14) beaufschlagbar ist zur Erzeugung des modulierten optischen Signals (E), dessen Signalverlauf abhängig ist vom Signalverlauf eines von den Wasserschallwellen (14) erzeugten hydroakustischen Signals, dadurch gekennzeichnet, dass das optisch wirksame Bauelement ein photonischer Kristall (16) ist.
2. Optoakustischer Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der photonische Kristall (16) eine periodische Gitterstruktur mit wenigstens einer Strukturkonstanten aufweist, die im Bereich der Wellenlänge (λ_{R1} ; λ_{T1}), der halben Wellenlänge oder eines Viertels der Wellenlänge des den photonischen Kristalls (16) beaufschlagenden Lichts (S) liegt.
3. Optoakustischer Wandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der photonische Kristall (16) einen von der Wellenlänge (λ_{R1}) des beaufschlagenden Lichts (S) abhängigen Verlauf des optischen Reflektionsgrades (R) aufweist, der bei ansteigender Wellenlänge (λ) von einem ersten Bereich (40) minimalen Reflektionsgrades (R) bis zu einem Bereich (42) maximalen Reflektionsgrades (R) ansteigt und bei weiter ansteigender Wellenlänge (λ) bis zu einem zweiten Bereich (44) minimalen Reflektionsgrades (R) abfällt, wobei das beaufschlagende Licht (S) monochromatisches Licht mit einer vorbestimmten Wellenlänge (λ_{R1}) oder polychromatisches Licht mit mehreren vorbestimmten Wellenlängen (λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} , λ_{R5}) oder Licht mit einem schmalbandigen Wellenlängenbereich und die wenigstens eine Strukturkonstante derart an diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich angepasst ist, dass der optische Reflektionsgrad (R) für diese Wel-

lenlänge bzw. diese mehrere Wellenlänge bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich zwischen dem Bereich (42) maximalen Reflektionsgrades (R) und dem ersten Bereich (40) und/oder zweiten Bereich (44) minimalen Reflektionsgrades (R) liegt.

5

4. Optoakustischer Wandler nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der photonische Kristall (16) einen von der Wellenlänge (λ_{T1}) des beaufschlagenden Lichts abhängigen Verlauf des optischen Transmissionsgrades (T) aufweist, der bei ansteigender Wellenlänge (λ) von einem ersten Bereich (58) maximalen Transmissionsgrades (T) bis zu einem Bereich (60) minimalen Transmissionsgrades (T) abfällt und bei weiter ansteigender Wellenlänge (λ) bis zu einem zweiten Bereich (62) maximalen Transmissionsgrades (T) ansteigt, wobei das beaufschlagende Licht (S) monochromatisches Licht einer vorbestimmten Wellenlänge (λ_{T1}) oder polychromatisches Licht mit mehreren vorbestimmten Wellenlängen (λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5}) oder Licht mit einem schmalbandigen Wellenlängenbereich und die wenigstens eine Strukturkonstante derart an diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich angepasst ist, dass der optische Transmissionsgrad (T) für diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich zwischen dem Bereich (60) minimalen Transmissionsgrades (T) und dem ersten Bereich (58) und/oder zweiten Bereich (62) maximalen Transmissionsgrades (T) liegt.

10

15

20

25

5. Optoakustischer Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der photonische Kristall (16) an vorbestimmten Bereichen vorbestimmte Defekte bzw. vorbestimmte Unregelmäßigkeiten aufweist.

30

6. Hydrophonanordnung mit einem oder mehreren optoakustischen Wandlern (12) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 sowie einer oder mehreren Lichtquellen (18) zur Erzeugung des den bzw. die photonischen Kristall(e) (16)

beaufschlagenden Lichts (S) und einem oder mehreren Lichtsensor(en) (32) zum Empfangen von vom photonischen Kristall (16) bzw. von den photonischen Kristallen (16) reflektiertem Licht (E) oder von durch den photonischen Kristall (16) bzw. die photonischen Kristalle (16) transmittiertem Licht und zum Erzeugen eines elektrischen Signals (34) in Abhängigkeit des empfangenen Lichts (E).

7. Hydrophananordnung nach Anspruch 6, wobei das elektrische Signal (34) des Lichtsensors (32) einem Hochpassfilter (36) zugeführt wird.
8. Hydrophananordnung nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Lichtquelle (32) bzw. Lichtquellen (32) bzgl. der von ihr bzw. ihnen erzeugten Wellenlänge(n) (λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} , λ_{R5} ; λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5}) einstellbar ist bzw. sind, wobei die Wellenlänge(n) in Abhängigkeit der Tauchtiefe der Hydrophananordnung (10) gesteuert ist/sind, insbesondere die Wellenlänge(n) bei größer werdender Tauchtiefe reduziert und bei kleiner werdender Tauchtiefe erhöht oder reduziert wird.
9. Hydrophananordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei eine Vielzahl von photonischen Kristallen (16) innerhalb einer Schleppantenne (56) einer Sonaranlage angeordnet sind, wobei diese photonischen Kristalle (16) über Lichtwellenleiter (54; 66, 68) mit der bzw. den Lichtquelle(n) (18) und dem bzw. den Lichtsensoren (32) verbunden sind.
10. Hydrophananordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei eine Gruppe (50; 64) von photonischen Kristallen (16) über einen Lichtwellenleiter miteinander zur Beaufschlagung mit Licht (S) verbunden sind, wobei die Strukturkonstanten dieser photonischen Kristalle (16) unterschiedlich sind und wobei das die photonischen Kristalle (16) beaufschlagende Licht polychromatisch ist, wobei die Wellenlängen (λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} , λ_{R5} ; λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5}) dieses Lichts (S) an die Strukturkonstanten dieser photonischen Kristalle (16) angepasst ist.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

5 beim Internationalen Büro eingegangen am 1 August 2012 (01.08.2012)

1. Hydrophonanordnung mit einem oder mehreren optoakustischen Wandlern
10 (12) zur Wandlung von Wasserschallwellen (14) in ein modulierte opti-
 sches Signal (E) mit einem optisch wirksamen Bauelement (16), welches
 mit Licht (S) und Wasserschallwellen (14) beaufschlagbar ist zur Erzeu-
 gung des modulierten optischen Signals (E), dessen Signalverlauf abhän-
15 gig ist vom Signalverlauf eines von den Wasserschallwellen (14) erzeugten
 hydroakustischen Signals, wobei das optisch wirksame Bauelement ein
 photonischer Kristall (16) ist und die Hydrophonanordnung eine oder meh-
 rere Lichtquellen (18) aufweist zur Erzeugung eines einen bzw. mehrere
 photonische(n) Kristall(e) (16) beaufschlagenden Lichts (S) und einem oder
20 mehreren Lichtsensor(en) (32) zum Empfangen von vom photonischen
 Kristall (16) bzw. von den photonischen Kristallen (16) reflektiertem Licht
 (E) oder von durch den photonischen Kristall (16) bzw. die photonischen
 Kristalle (16) transmittiertem Licht und zum Erzeugen eines elektrischen
 Signals (34) in Abhängigkeit des empfangenen Lichts (E),
 dadurch gekennzeichnet, dass
25 eine Gruppe (50; 64) von photonischen Kristallen (16) über einen Lichtwel-
 lenleiter miteinander zur Beaufschlagung mit Licht (S) verbunden sind, wo-
 bei die Strukturkonstanten dieser photonischen Kristalle (16) unterschied-
 lich sind und wobei das die photonischen Kristalle (16) beaufschlagende
 Licht polychromatisch ist, wobei die Wellenlängen (λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} ,
30 λ_{R5} ; λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5}) dieses Lichts (S) an die Strukturkonstanten
 dieser photonischen Kristalle (16) angepasst ist.
2. Hydrophonanordnung nach Anspruch 1,
 dadurch gekennzeichnet, dass
35 der photonische Kristall (16) eine periodische Gitterstruktur mit wenigstens
 einer Strukturkonstanten aufweist, die im Bereich der Wellenlänge (λ_{R1} ;
 λ_{T1}), der halben Wellenlänge oder eines Viertels der Wellenlänge des den
 photonischen Kristalls (16) beaufschlagenden Lichts (S) liegt.

3. Hydrophonanordnung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass

5 der photonische Kristall (16) einen von der Wellenlänge (λ_{R1}) des beaufschlagenden Lichts (S) abhängigen Verlauf des optischen Reflektionsgrades (R) aufweist, der bei ansteigender Wellenlänge (λ) von einem ersten Bereich (40) minimalen Reflektionsgrades (R) bis zu einem Bereich (42) maximalen Reflektionsgrades (R) ansteigt und bei weiter ansteigender
10 Wellenlänge (λ) bis zu einem zweiten Bereich (44) minimalen Reflektionsgrades (R) abfällt, wobei das beaufschlagende Licht (S) monochromatisches Licht mit einer vorbestimmten Wellenlänge (λ_{R1}) oder polychromatisches Licht mit mehreren vorbestimmten Wellenlängen (λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} , λ_{R5}) oder Licht mit einem schmalbandigen Wellenlängenbereich und
15 die wenigstens eine Strukturkonstante derart an diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich angepasst ist, dass der optische Reflektionsgrad (R) für diese Wellenlänge bzw. diese mehrere Wellenlänge bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich zwischen dem Bereich (42) maximalen Reflektionsgrades (R) und dem ersten Bereich (40) und/oder zweiten Bereich (44) minimalen Reflektionsgrades (R) liegt.

4. Hydrophonanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass

25 der photonische Kristall (16) einen von der Wellenlänge (λ_{T1}) des beaufschlagenden Lichts abhängigen Verlauf des optischen Transmissionsgrades (T) aufweist, der bei ansteigender Wellenlänge (λ) von einem ersten Bereich (58) maximalen Transmissionsgrades (T) bis zu einem Bereich (60) minimalen Transmissionsgrades (T) abfällt und bei weiter ansteigender
30 Wellenlänge (λ) bis zu einem zweiten Bereich (62) maximalen Transmissionsgrades (T) ansteigt, wobei das beaufschlagende Licht (S) monochromatisches Licht einer vorbestimmten Wellenlänge (λ_{T1}) oder polychromatisches Licht mit mehreren vorbestimmten Wellenlängen (λ_{T1} , λ_{T2} ,

λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5}) oder Licht mit einem schmalbandigen Wellenlängenbereich und die wenigstens eine Strukturkonstante derart an diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich angepasst ist, dass der optische Transmissionsgrad (T) für diese Wellenlänge bzw. diese mehreren Wellenlängen bzw. diesen schmalbandigen Wellenlängenbereich zwischen dem Bereich (60) minimalen Transmissionsgrades (T) und dem ersten Bereich (58) und/oder zweiten Bereich (62) maximalen Transmissionsgrades (T) liegt.

5. Hydrophonanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der photonische Kristall (16) an vorbestimmten Bereichen vorbestimmte Defekte bzw. vorbestimmte Unregelmäßigkeiten aufweist.

6. Hydrophonanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Signal (34) des Lichtsensors (32) einem Hochpassfilter (36) zugeführt wird.

7. Hydrophonanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (32) bzw. Lichtquellen (32) bzgl. der von ihr bzw. ihnen erzeugten Wellenlänge(n) (λ_{R1} , λ_{R2} , λ_{R3} , λ_{R4} , λ_{R5} ; λ_{T1} , λ_{T2} , λ_{T3} , λ_{T4} , λ_{T5}) einstellbar ist bzw. sind, wobei die Wellenlänge(n) in Abhängigkeit der Tauchtiefe der Hydrophonanordnung (10) gesteuert ist/sind, insbesondere die Wellenlänge(n) bei größer werdender Tauchtiefe reduziert und bei kleiner werdender Tauchtiefe erhöht oder reduziert wird.

8. Hydrophonanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von photonischen Kristallen (16) innerhalb einer Schleppantenne (56) einer Sonaranlage angeordnet sind, wobei diese photonischen Kristalle (16) über Lichtwellenleiter (54; 66, 68) mit der bzw. den Lichtquelle(n) (18) und dem bzw. den Lichtsensoren (32) verbunden sind.

1/4

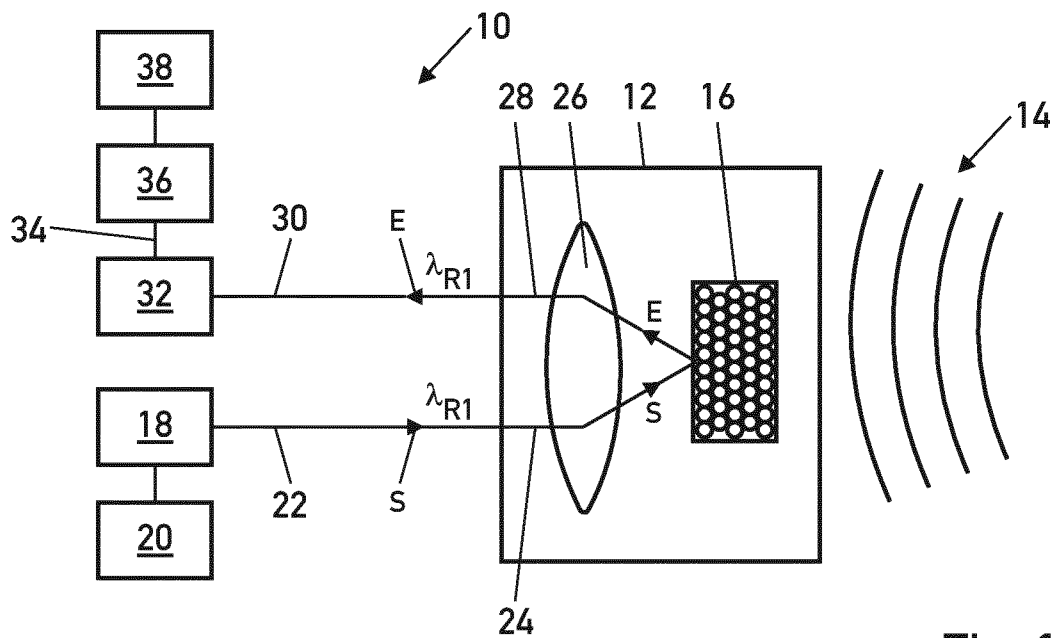


Fig. 1

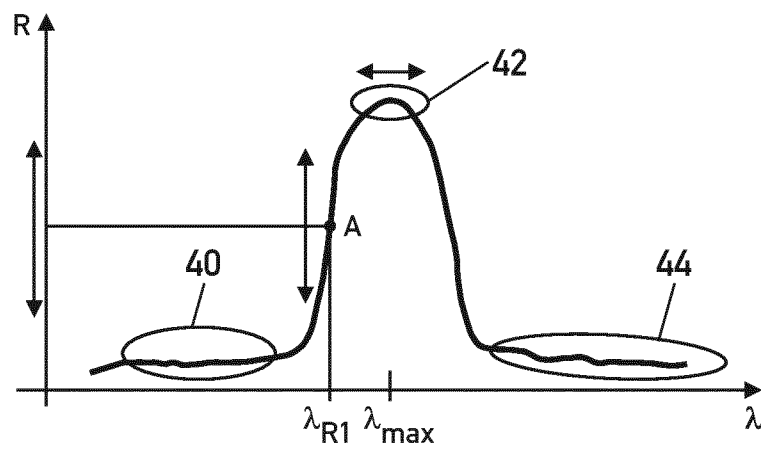


Fig. 2

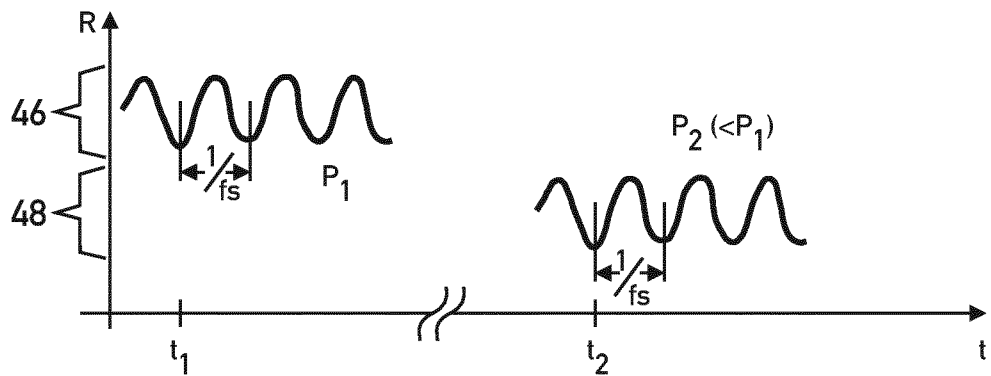


Fig. 3

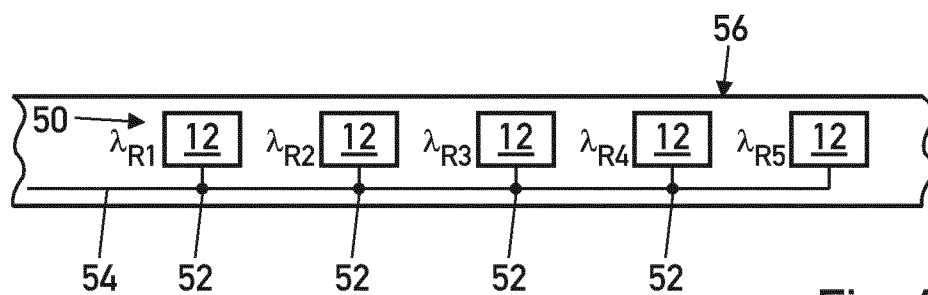


Fig. 4

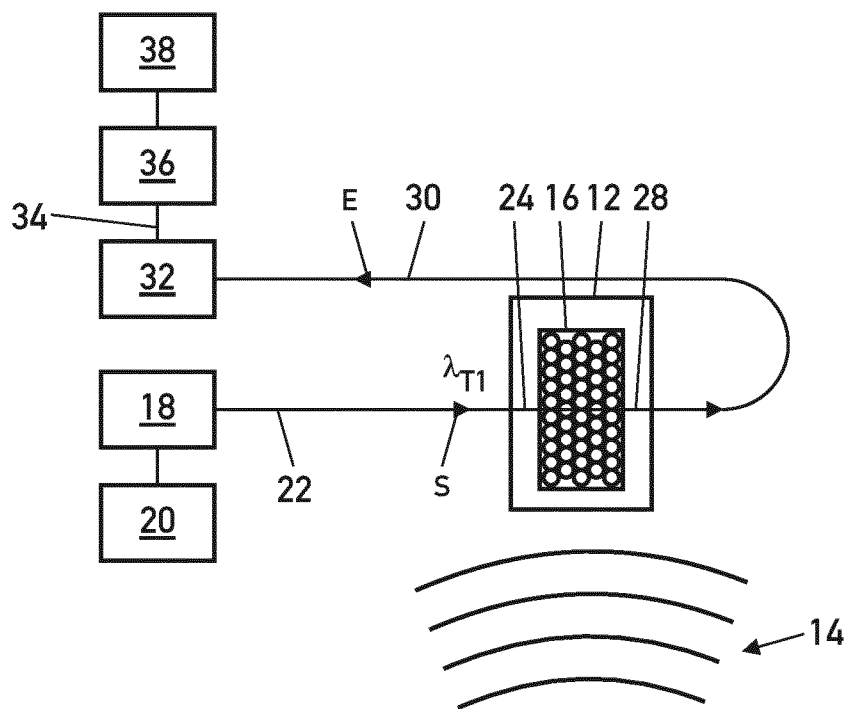


Fig. 5

3/4

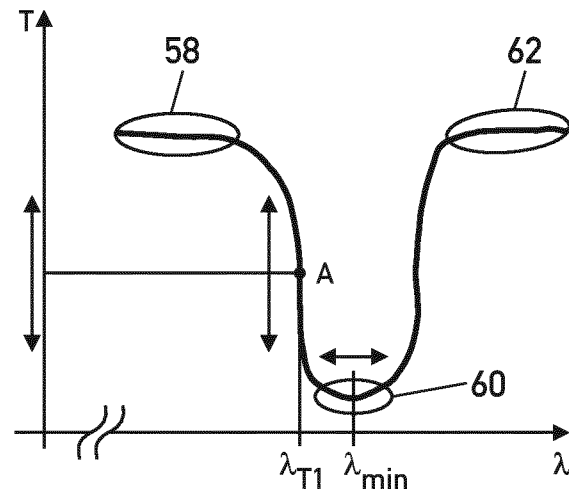


Fig. 6

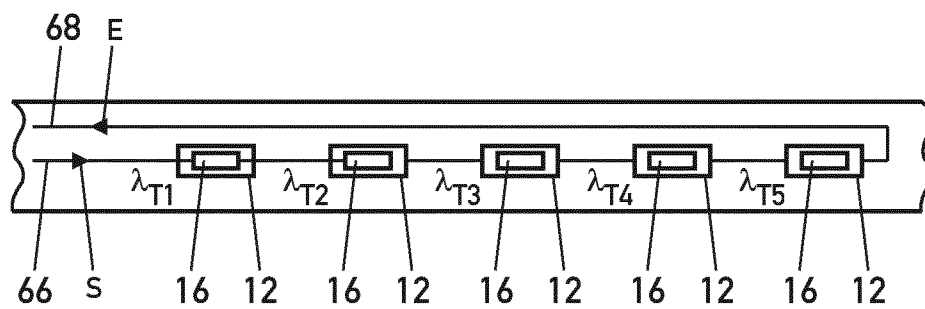


Fig. 7

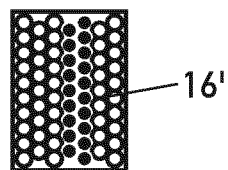


Fig. 8

4/4

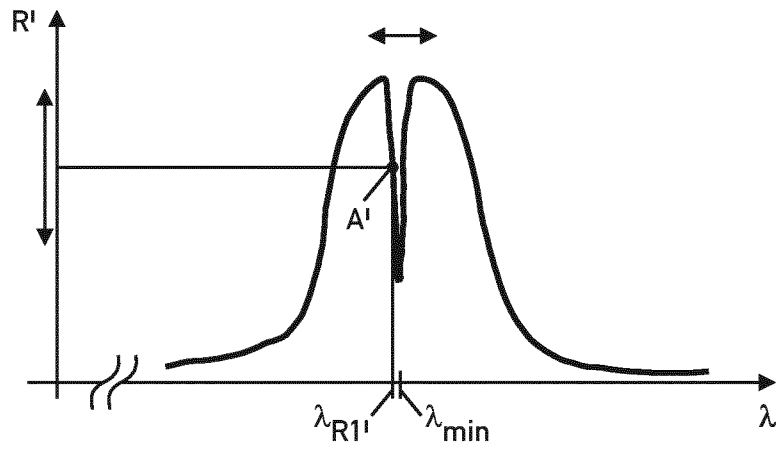


Fig. 9

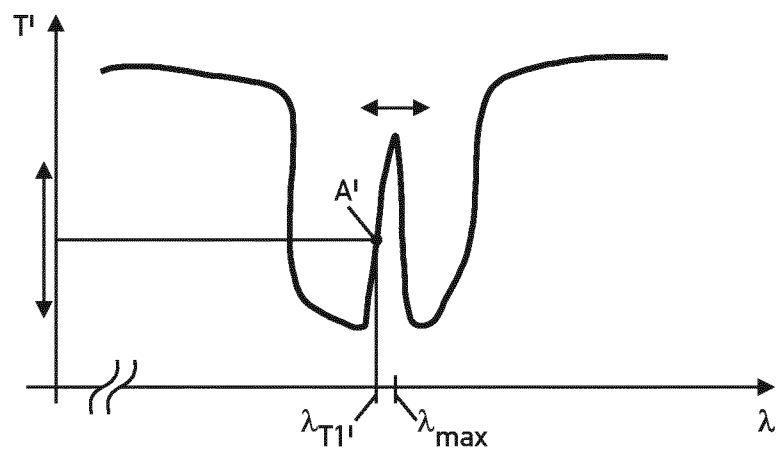


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/055078

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04R1/44 H04R23/00 G01H9/00 G02B1/00 G01V1/18
ADD.

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)
H04R G01H G02B G01V

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	US 2008/034866 A1 (KILIC ONUR [US] ET AL) 14 February 2008 (2008-02-14) paragraphs [0083] - [0097], [0130] - [0132], [0142] - [0167], [0175] - [0181], [0188], [0189]; figures 1,3,4,24-34,36,37,42,43 -----	1-7,9
X	Onur Kilic ET AL: "Miniature photonic-crystal hydrophone optimized for ocean acoustics", arXiv.org - Physics - Instrumentation and Detectors, 13 December 2010 (2010-12-13), pages 1-30, XP55027875, arXiv:1004.2742v2 [physics.ins-det] Retrieved from the Internet: URL:http://arxiv.org/pdf/1004.2742v2 [retrieved on 2012-05-23] the whole document -----	1,2,6,7, 9



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

23 May 2012

Date of mailing of the international search report

05/06/2012

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Fobel, Oliver

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/055078

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2008034866	A1	14-02-2008	CA 2650887 A1 15-11-2007
			EP 2013655 A1 14-01-2009
			JP 2009535977 A 01-10-2009
			US 2008034866 A1 14-02-2008
			US 2011088470 A1 21-04-2011
			WO 2007130152 A1 15-11-2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV. H04R1/44	H04R23/00	G01H9/00 G02B1/00 G01V1/18
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
H04R G01H G02B G01V		
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	US 2008/034866 A1 (KILIC ONUR [US] ET AL) 14. Februar 2008 (2008-02-14) Absätze [0083] - [0097], [0130] - [0132], [0142] - [0167], [0175] - [0181], [0188], [0189]; Abbildungen 1,3,4,24-34,36,37,42,43	1-7,9
X	Onur Kilic ET AL: "Miniature photonic-crystal hydrophone optimized for ocean acoustics", arXiv.org - Physics - Instrumentation and Detectors, 13. Dezember 2010 (2010-12-13), Seiten 1-30, XP55027875, arXiv:1004.2742v2 [physics.ins-det] Gefunden im Internet: URL: http://arxiv.org/pdf/1004.2742v2 [gefunden am 2012-05-23] das ganze Dokument	1,2,6,7, 9
☐ 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
23. Mai 2012		05/06/2012
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Fobel, Oliver

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/055078

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2008034866 A1	14-02-2008	CA 2650887 A1	15-11-2007
		EP 2013655 A1	14-01-2009
		JP 2009535977 A	01-10-2009
		US 2008034866 A1	14-02-2008
		US 2011088470 A1	21-04-2011
		WO 2007130152 A1	15-11-2007
