



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 052 456 B4** 2007.12.20

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 052 456.4**

(22) Anmeldetag: **28.10.2004**

(43) Offenlegungstag: **13.04.2006**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **20.12.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 33/00** (2006.01)
G02F 1/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:

10 2004 047 654.3 30.09.2004

(73) Patentinhaber:

**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93049
Regensburg, DE**

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(72) Erfinder:

**Wessler, Berit, Dr., 82024 Taufkirchen, DE;
Pham-Gia, Khanh, Dr., 81735 München, DE;
Liepold, Ute, Dr., 80939 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 102 04 318 A1

DE 101 33 352 A1

US2002/01 80 351 A1

US 67 91 259 B1

EP 05 99 224 A1

WO 01/86 038 A2

(54) Bezeichnung: **Strahlungsemitterndes Bauelement und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Hauptanspruch: Bauelement, das geeignet ist elektromagnetische Strahlung zu emittieren, mit:

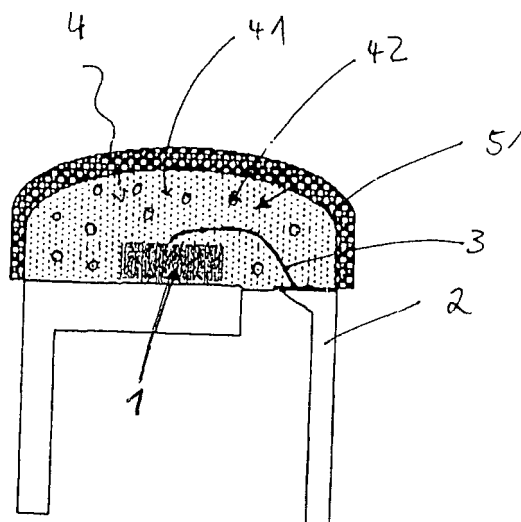
– mindestens einer primären Strahlungsquelle (1), die geeignet ist, elektromagnetische Primärstrahlung eines ersten Wellenlängenbereiches zu emittieren,

– mindestens einem Lumineszenzkonversionselement (4), das zumindest einen Teil der von der primären Strahlungsquelle stammenden Strahlung in Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereiches konvertiert, der zumindest teilweise vom ersten Wellenlängenbereich verschieden ist, und

– einem dem Lumineszenzkonversionselement (4) aus Sicht der primären Strahlungsquelle nachgeordneten Filterelement (5) mit einem dreidimensionalen photonischen Kristall (51), der Strukturen umfasst, die sich in drei Raumrichtungen periodisch fortsetzen,

wobei der photonische Kristall (51) derart ausgelegt ist, dass er für zur Emission unerwünschte Strahlung des ersten Wellenlängenbereiches weitestgehend undurchlässig ist und diese reflektiert, und gleichzeitig für Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches weitestgehend durchlässig ist

und wobei der photonische Kristall auf einem Träger aufgebracht ist, der zumindest teilweise durchlässig für die von dem Lumineszenzkonversionselement konvertierte Strahlung ist, und der Träger mit...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Bauelement, das geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu emittieren, und ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, das geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu emittieren.

[0002] Ein Bauelement, das geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu emittieren, ist beispielsweise in der Druckschrift DE 101 33 352 A1 beschrieben. Als Primärstrahlungsquelle dient hierbei mindestens eine Lumineszenzdiode, die eine Primärstrahlung im Bereich von 300 bis 485 nm emittiert, wobei die Primärstrahlung durch Lumineszenzkonversionspartikel teilweise oder vollständig in längerwellige Strahlung umgewandelt wird. Die Lumineszenzkonversionspartikel sind in der Regel in eine polymere Matrixmasse eingebettet, die auf die Primärstrahlungsquelle aufgebracht ist oder diese umhüllt. Die Lumineszenzkonversionspartikel und die polymere Matrixmasse bilden hierbei wesentliche funktionale Bauteile eines Lumineszenzkonversionselements. Bauelemente, bei denen Primärstrahlung aus dem UV- oder UV-nahen Bereich in sichtbares Licht umgewandelt wird, sind insbesondere geeignet, mit Hilfe verschiedener Lumineszenzkonversionspartikel weißes oder farbiges Licht zu erzeugen.

[0003] Ein Nachteil derartiger Bauelemente kann sein, dass sie eine nicht zu vernachlässigende Restemission von Primärstrahlung aus dem UV- oder UV-nahen Spektralbereich aufweisen. Dies kann insbesondere bei der Verwendung von Hochleistungslumineszenzdiode als Primärstrahlungsquelle auftreten. Eine derartige Restemission ist jedoch möglichst zu vermeiden, da elektromagnetische Strahlung aus dem UV- oder aus dem sichtbaren UV-nahen Wellenlängenbereich bei intensiver Einwirkung das menschliche Auge schädigen kann.

[0004] In der Druckschrift US 2002/0180351 A1 wird vorgeschlagen, in der polymeren Matrix, in die die Lumineszenzkonversionspartikel eingebettet sind, zusätzliche Teilchen zu dispergieren, die unkonvertierte Primärstrahlung streuen sollen. Dadurch soll unkonvertierte Primärstrahlung des Bauelementes den Lumineszenzkonversionspartikeln wieder zur Verfügung gestellt und der Prozentsatz an unkonvertierter Strahlung verringert werden, der von dem Bauelement emittiert wird. Alternativ wird vorgeschlagen, streuende Teilchen in einer separaten Schicht auf dem Lumineszenzkonversionselement aufzubringen.

[0005] Die Druckschrift US 2002/0180351 A1 offenbart auch eine Lichtquelle, die auf einer UV-Leuchtdiode basiert und Reflektoren für ultraviolette Strahlung umfasst.

[0006] Die Druckschrift DE 102 04 318 A1 betrifft

eine Klasse von photonischen Kristallen, die eine Bandlücke oder eine Pseudobandlücke zwischen dem 5. und 6. und/oder dem 8. und 9. Band aufweisen.

[0007] Die Druckschrift WO 01/86038 A2 offenbart Materialien auf Germanium-Basis mit einer photonischen Bandlücke.

[0008] Die Druckschrift US 6,791,259 B1 offenbart eine Lampe, die eine Lichtquelle und einen Lumineszenzkonversionsstoff umfasst. Zwischen diesen befindet sich eine Glasschicht, die Teilchen zur Streuung und Absorption von Strahlung enthält.

[0009] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht insbesondere darin, ein Bauelement mit UV- und/oder UV-nah emittierender Primärstrahlungsquelle bereitzustellen, bei dem der im Betrieb vom Bauelement emittierte Anteil an unkonvertierter UV- und/oder UV-naher Strahlung verringert ist. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung ein möglichst einfaches Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauelementes anzugeben.

[0010] Diese Aufgaben werden durch ein Bauelement gemäß Patentanspruch 1 und ein Verfahren gemäß Patentanspruch 12 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen des Bauelementes sowie des Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 11 bzw. 13 bis 18 angegeben.

[0011] Ein erfindungsgemäßes Bauelement, das geeignet ist elektromagnetische Strahlung zu emittieren, umfasst insbesondere:

- mindestens eine primäre Strahlungsquelle, die geeignet ist, elektromagnetische Primärstrahlung eines ersten Wellenlängenbereiches zu emittieren,
- mindestens ein Lumineszenzkonversionselement, das zumindest einen Teil der von der primären Strahlungsquelle stammenden Strahlung in Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereiches konvertiert, der zumindest teilweise vom ersten Wellenlängenbereich verschieden ist, und
- einem dem Lumineszenzkonversionselement aus Sicht der primären Strahlungsquelle nachgeordneten Filterelement mit einem dreidimensionalen photonischen Kristall, der Strukturen umfasst, die sich in drei Raumrichtungen periodisch fortsetzen,

wobei der photonische Kristall (**51**) derart ausgelegt ist, dass er für zur Emission unerwünschte Strahlung des ersten Wellenlängenbereiches weitestgehend undurchlässig ist und diese reflektiert, und gleichzeitig für Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches weitestgehend durchlässig ist und wobei der photonische Kristall auf einem Träger aufgebracht ist, der zumindest teilweise durchlässig

für die von dem Lumineszenzkonversionselement konvertierte Strahlung ist, und der Träger mit dem photonischen Kristall auf dem Lumineszenzkonversionselement aufgebracht ist.

[0012] Photonische Kristalle sind Materialien, die äquivalent zur elektronischen Bandlücke von Halbleitern eine Bandlücke für Photonen aufweisen, die sogenannte photonische Bandlücke. Photonen mit Energien innerhalb der photonischen Bandlücke können sich nicht in dem photonischen Kristall ausbreiten und werden von diesem reflektiert. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auch photonische Kristalle mit teilweise ausgebildeter photonischer Bandlücke gemäß der Erfindung verwendet werden können. Die photonische Bandlücke bildet sich, vollständig oder teilweise, aufgrund periodischer Strukturen aus mindestens zwei Materialien aus, die der Kristall umfasst. Photonische Kristalle lassen sich in eindimensionale, zweidimensionale und dreidimensionale photonische Kristalle einteilen. Ein dreidimensionaler photonischer Kristall umfasst Strukturen, die sich in drei Raumrichtungen periodisch fortsetzen. Ein photonischer Kristall in zwei Dimensionen umfasst äquivalent Strukturen, die in zwei Raumrichtungen periodisch ausgebildet sind und ein eindimensionaler photonischer Kristall umfasst Strukturen, die in einer Raumrichtung periodisch ausgebildet sind. Es werden jeweils solche Photonen von dem photonischen Kristall reflektiert, deren Energie innerhalb der photonischen Bandlücke liegt und deren Ausbreitungsrichtung im Wesentlichen mit der Richtung des periodischen Materialwechsels übereinstimmt.

[0013] Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es auch denkbar ist, zweidimensionale photonische Kristalle mit geeigneter photonischer Bandlücke in dem Filterelement einzusetzen.

[0014] Ein dreidimensionaler photonischer Kristall mit geeigneter Bandlücke als Bestandteil des Filterelementes bietet den Vorteil, dass dieser unkonvertierte Strahlung aus allen Raumrichtungen teilweise oder vollständig selektiv reflektiert. Dadurch kann abhängig von der Ausprägung der photonischen Bandlücke ein großer Prozentsatz unkonvertierter Primärstrahlung des ersten Wellenlängenbereiches ausgefiltert werden, während konvertierte Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches das Filterelement größtenteils passieren kann und von dem Bauelement abgestrahlt wird.

[0015] Da unkonvertierte Primärstrahlung durch den photonischen Kristall reflektiert wird, steht diese vorteilhafterweise nach der Reflexion durch das Filterelement, zumindest teilweise, weiterhin dem Lumineszenzkonversionselement zur Verfügung. Dieser Anteil der Primärstrahlung geht somit nicht verloren, wie beispielsweise bei der Verwendung absorbieren-

der Stoffe zur Filterung von Primärstrahlung vor dem Austritt aus dem Bauelement. Hierdurch kann die Strahlungsausbeute des Bauelementes erhöht werden.

[0016] Bevorzugt reflektiert das Filterelement zumindest einen Teil der Primärstrahlung in das Lumineszenzkonversionselement zurück. Besonders bevorzugt reflektiert das Filterelement einen möglichst großen Teil der Primärstrahlung in das Lumineszenzkonversionselement zurück. Hierdurch kann Primärstrahlung nach der Reflexion an dem photonischen Kristall durch das Lumineszenzkonversionselement in Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches umgewandelt werden und das Bauelement verlassen. So kann die Strahlungsausbeute des Bauelementes weiter erhöht werden.

[0017] Bei einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der photonische Kristall dreidimensionale periodische inverse Opalstrukturen. Dreidimensionale inverse Opalstrukturen bieten den Vorteil Strahlung mit Energien innerhalb der photonischen Bandlücke im Wesentlichen unabhängig von der Einfallrichtung teilweise oder vollständig zu reflektieren. Darüber hinaus können sie relativ einfach hergestellt werden. Die Strahlung wird teilweise reflektiert, wenn das Verhältnis aus dem Brechungsindex des Materials in den Zwischenräumen und zu dem Brechungsindex des Materials in den kugelförmigen Bereichen kleiner oder gleich 2.9 ist und vollständig reflektiert, wenn das Verhältnis größer oder gleich 2.9 ist.

[0018] Periodische inverse Opalstrukturen können beispielsweise erzeugt werden, indem Kugeln in einer kubisch oder hexagonal dichtesten Kugelpackung angeordnet werden und nachfolgend die Zwischenräume zwischen den Kugeln mit einem geeigneten Material gefüllt werden. Nach dem Auffüllen der Zwischenräume werden die Kugeln entfernt. Der Durchmesser der Kugeln liegt hierbei im Bereich der Wellenlänge der zu reflektierenden Strahlung.

[0019] Um Kugeln in kubischen Strukturen oder in hexagonal dichtesten Kugelpackungen anzuordnen, werden bevorzugt selbstorganisierende Prozesse angewendet. Diese Prozesse bieten, insbesondere gegenüber seriellen Verfahren zur Mustererzeugung, den Vorteil in der Regel schnell und kostengünstig abzulaufen.

[0020] Bevorzugt umfasst der photonische Kristall periodische Strukturen mit Lufteinschlüssen. Weiterhin umfasst der photonische Kristall bevorzugt Materialien mit einem Brechungsindex größer oder gleich 1,4, wie beispielsweise TiO_2 , SiO_2 , Si und Ge.

[0021] Um einen möglichst großen Anteil an Primärstrahlung mit Hilfe des Filterelementes zu reflektieren, wird ein photonischer Kristall mit einer möglichst

vollständigen photonischen Bandlücke benötigt. Ein solcher entsteht insbesondere, wenn die Brechungsindizes der Materialien, aus denen die periodischen Strukturen des Kristalls aufgebaut sind, einen möglichst großen Brechungsindexunterschied aufweisen. So weist eine inverse Opalstruktur beispielsweise eine vollständige photonische Bandlücke auf, wenn das Verhältnis aus dem Brechungsindex des Materials in den Zwischenräumen und zu dem Brechungsindex des Materials in den kugelförmigen Bereichen größer oder gleich 2.9 ist. Bevorzugt umfassen die periodischen Strukturen des photonischen Kristalls daher in der Regel mindestens zwei Materialien, von denen eines einen relativ kleinen und eines einen relativ großen Brechungsindex aufweist. Da Luft gegenüber vielen Materialien einen relativ niedrigen Brechungsindex ($n(\text{Luft}) \approx 1$) besitzt, sind periodische Lufteinschlüsse besonders als Teil der periodischen Strukturen eines photonischen Kristalls mit möglichst vollständiger photonischer Bandlücke geeignet. Weiterhin weisen die Materialien TiO_2 , Si und Ge jeweils einen relativ großen Brechungsindex auf ($n(\text{Rutil}) \approx 2.71$, $n(\text{Si}) \approx 3.4$, $n(\text{Ge}) \approx 4.0$). Aus diesem Grund sind sie besonders geeignet die Zwischenräume zwischen den kugelförmigen Bereichen eines photonischen Kristalls mit inverser Opalstruktur mit möglichst vollständiger photonischer Bandlücke zu füllen.

[0022] Materialien, die zumindest teilweise für die vom Konversionselement konvertierte Strahlung durchlässig sind, wie beispielsweise Polymere, können vorteilhafterweise verwendet werden, die Zwischenräume zwischen den Kugeln zu füllen, wenn der photonische Kristall nicht hinsichtlich einer möglichst vollständigen Bandlücke optimiert werden soll, sondern auf möglichst hohe Transparenz für die von den Lumineszenzkonversionspartikeln emittierte sekundäre Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches.

[0023] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Bauelementes ist der photonische Kristall in einer Schicht mit einer Dicke größer oder gleich $2 \mu\text{m}$ und kleiner oder gleich $50 \mu\text{m}$ ausgebildet. Eine dünne Schichtdicke bietet den Vorteil, dass sie für einen großen Teil der konvertierten Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches besser transparent ist.

[0024] Weiterhin weist das Bauelement bevorzugt als primäre Strahlungsquelle mindestens einen Leuchtdiodenchip auf, der geeignet ist, elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im ultravioletten Bereich und/oder kurzwelligen blauen Bereich zu emittieren. Zusammen mit geeigneten Lumineszenzkonversionsstoffen kann so vorteilhafterweise ein Bauelement geschaffen werden, das im Betrieb weißes Licht emittiert. Sendet der Leuchtdiodenchip UV-Strahlung aus, kann mit Hilfe entsprechender Lumineszenzkonversionspartikel ein Teil der primären UV-Strahlung in gelbes Licht und ein weiterer Teil der

primären UV-Strahlung in blaues Licht umgewandelt werden. Das gelbe Licht und das blaue Licht mischen sich und hinterlassen so einen weißen Farbeindruck beim Betrachter. Es können auch Wellenlängenkonversionsstoffe eingesetzt werden, um beliebige andere Farben zu erzeugen. Entsprechend geeignete Leuchtdiodenchips und Lumineszenzkonversionsstoffe sind dem Fachmann bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert. Es können beispielsweise herkömmliche UV-emittierende und/oder kurzwellig blau emittierende Leuchtdiodenchips und herkömmliche dafür geeignete Leuchtstoffe eingesetzt werden. Ein entsprechender Leuchtdiodenchip ist beispielsweise in der Druckschrift EP 599 224 A1 beschrieben. Lumineszenzkonversionsstoffe sind weiterhin beispielsweise in der Druckschrift DE 101 33 352 A1 beschrieben.

[0025] Ein Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, das geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu emittieren, umfasst insbesondere die Schritte:

- Bereitstellen mindestens einer primären Strahlungsquelle, die geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu emittieren mit mindestens einer strahlungsemitternden Seite,
- Aufbringen eines Lumineszenzkonversionselements zumindest auf die strahlungsemitternde Seite der primären Strahlungsquelle, und
- Aufbringen eines dreidimensionalen photonischen Kristalls auf dem Lumineszenzkonversionselement.

[0026] Zwischen der primären Strahlungsquelle und dem Lumineszenzkonversionselement und/oder zwischen dem Lumineszenzkonversionselement und dem photonischen Kristall können, falls zweckmäßig, zusätzliche Schichten, wie beispielsweise Verbindungsschichten, angeordnet sein.

[0027] Der photonische Kristall wird auf einen Träger aufgebracht und der Träger mit dem photonischen Kristall wird auf dem Lumineszenzkonversionselement aufgebracht. Der Träger ist hierbei vorzugsweise zumindest teilweise durchlässig für die von dem Lumineszenzkonversionselement konvertierte Strahlung. Diese Ausführungsform des Verfahrens bietet den Vorteil, dass der photonische Kristall getrennt von dem restlichen Bauelement hergestellt werden kann. So können insbesondere Technologien zur Herstellung des photonischen Kristalls angewendet werden, die das restliche Bauelement schädigen würden. Der Träger mit dem photonischen Kristall kann wahlweise so auf das Lumineszenzkonversionselement aufgebracht werden, dass der photonische Kristall zu dem Lumineszenzkonversionselement hin oder weg gewandt ist.

[0028] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens umfasst das Aufbringen

des photonischen Kristalls die Selbstorganisation kolloidaler Teilchen. Selbstorganisierende Prozesse beinhalten beispielsweise Verdunstungsprozesse, Elektrophorese und/oder Sedimentationsschritte. Bei den kolloidalen Teilchen kann es sich beispielsweise um Kugeln aus Polystyrol oder aus SiO_2 handeln. Kolloidale Teilchen sind dem Fachmann bekannt und werden daher an dieser Stelle nicht näher erläutert. Selbstorganisierende Prozesse bieten zum einen in der Regel den Vorteil, vergleichsweise einfach durchgeführt werden zu können. Zum anderen können mit selbstorganisierenden Prozessen periodische Strukturen mit vielfältigen Geometrien erzeugt werden.

[0029] Weiterhin umfasst das Aufbringen des photonischen Kristalls bevorzugt mindestens einen elektrophoretischen Verfahrensschritt zur Aufbringung kolloidaler Teilchen.

[0030] Werden die kolloidalen Teilchen in einer periodischen Struktur mit Hilfe eines elektrophoretischen Verfahrensschrittes aufgebracht, kann auch Füllmaterial, das die Zwischenräume zwischen den kolloidalen Teilchen auffüllen soll, vorteilhafterweise entweder gleichzeitig oder mit Hilfe eines nachfolgenden elektrophoretischen Schrittes aufgebracht werden. Dies bietet in der Regel den Vorteil einer vereinfachten Verfahrensführung. Weiterhin bieten elektrophoretische Prozesse den Vorteil, deutlich schneller durchgeführt werden zu können, als beispielsweise Sedimentations- oder Verdunstungsprozesse. Außerdem können mit elektrophoretischen Verfahren in der Regel dickere Schichten realisiert werden als mit alternativen Verfahren.

[0031] Weiterhin werden als kolloidale Teilchen bevorzugt Kugeln mit einem Durchmesser größer oder gleich 100 nm und kleiner oder gleich 250 nm verwendet. Werden diese Teilchen in einer kubischen oder hexagonal dichtesten Kugelpackung angeordnet, bilden sie das Grundgitter für eine inverse Opalstruktur, deren photonische Bandlücke im UV- oder UV-nahen Bereich des sichtbaren Lichtes liegt.

[0032] Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die periodischen Strukturen des photonischen Kristalls im Rahmen der Erfindung nicht nur mit Hilfe selbstorganisierender Prozesse, wie Elektrophorese, Verdunstung oder Sedimentation erzeugt werden können, sondern auch mit jedem anderen geeigneten Prozess, wie beispielsweise mit Hilfe von Lasern (Interferenzlithographie) oder Ätz- und Aufdampfverfahren. Es sei weiterhin darauf hingewiesen, dass gemäß der Erfindung nicht nur inverse Opalstrukturen als photonische Kristalle zur Anwendung kommen können, sondern alle periodischen Strukturen, die einen photonischen Kristall mit geeigneter photonischer Bandlücke bilden.

[0033] Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmä-

ßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus den folgenden in Verbindung mit den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) und [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) beschriebenen Ausführungsbeispielen.

[0034] Es zeigen:

[0035] [Fig. 1](#), eine schematische Schnittansicht eines Bauelementes,

[0036] [Fig. 2](#), eine weitere schematische Schnittansicht eines Ausführungsbeispiels des Bauelementes,

[0037] [Fig. 3](#), eine weitere schematische Schnittansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels des Bauelementes, und

[0038] [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#), schematische Schnittansichten von Verfahrensstadien zur Aufbringung eines photonischen Kristalls auf einen Träger.

[0039] In den Ausführungsbeispielen und den Figuren sind gleiche oder gleich wirkende Bestandteile jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Die dargestellten Elemente der Figuren, insbesondere die Schichtdicken, sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen. Vielmehr können sie zum besseren Verständnis teilweise übertrieben groß dargestellt sein.

[0040] Bei dem in [Fig. 1](#) gezeigten Beispiel, dessen Ausgestaltung nicht der vorliegend beanspruchten Erfindung entspricht, ist ein Leuchtdiodenchip **1** auf einem Chipträger **2** aufgebracht und mit einem Bonddraht **3** elektrisch kontaktiert. Der Leuchtdiodenchip **1** wird von einem Lumineszenzkonversionselement **4** umhüllt. Das Lumineszenzkonversionselement **4** umfasst eine polymere Matrix **41** in der Lumineszenzkonversionspartikel **42** eingebettet sind. Auf dem Lumineszenzkonversionselement **4** ist in direktem Kontakt eine Schicht aus einem photonischen Kristall **51** aufgebracht, dessen Bandlücke so ausgebildet ist, dass hinsichtlich der Emission des Bauelementes unerwünschte Primärstrahlung des Leuchtdiodenchips **1** weitestgehend reflektiert wird und konvertierte Strahlung weitestgehend transmittiert wird. Der photonische Kristall **51** ist so aufgebracht, dass er die gesamte Oberfläche des Lumineszenzkonversionselementes **4** bedeckt. Weiterhin beträgt die Dicke der Schicht zwischen **2** und **50** μm . Der photonische Kristall bildet hierbei einen wesentlichen funktionalen Bestandteil eines Filterelementes **5**, das die Aufgabe hat, Primärstrahlung des Leuchtdiodenchips **1** vor dem Verlassen des Bauelementes auszusondern.

[0041] Im Betrieb sendet der Leuchtdiodenchip **1** elektromagnetische Strahlung aus, die von den Konversionspartikeln **42** in der umhüllenden Matrix **41** in Strahlung einer gewünschten Wellenlänge umgewandelt wird. Der Leuchtdiodenchip **1** kann beispiels-

weise UV-Strahlung aussenden, von der innerhalb des Lumineszenzkonversionselementes **4** ein gewisser Teil in gelbes Licht und ein weiterer Teil in blaues Licht umgewandelt wird. Das gelbe Licht und das blaue Licht mischen sich und hinterlassen einen weißen Farbeindruck beim Betrachter.

[0042] Die Umwandlung von UV-Strahlung in Licht einer anderen Wellenlänge findet statt, wenn ein Photon auf ein Lumineszenzkonversionspartikel **42** trifft und erfolgt daher nach statistischen Gesetzmäßigkeiten. Bei diesem Vorgang besteht die Wahrscheinlichkeit, dass Photonen das Lumineszenzkonversionselement **4** ungehindert passieren können und so unkonvertierte Primärstrahlung von dem Leuchtdiodenchip **1** auf den photonischen Kristall **51** trifft. Dort wird sie in der Regel von dem photonischen Kristall **51** zurück in das Lumineszenzkonversionselement **4** reflektiert und steht den Lumineszenzkonversionspartikeln **42** erneut zur Verfügung.

[0043] Zum Abscheiden einer Schicht photonischen Kristalls **51** auf dem Lumineszenzkonversionselement **4** wird, beispielsweise durch Tauchen des Bauelementes in eine Suspension mit SiO₂-Kugeln **6** und nachfolgende Verdunstung, eine Schicht aus Kugeln **6** in einer kubischen oder hexagonal dichtesten Kugelpackung auf dem Lumineszenzkonversionselement **4** erzeugt. In einem nachfolgenden Schritt werden die Zwischenräume **7** mit TiO₂ gefüllt, das zur Stabilisierung mit einem Bindemittel versetzt ist. Anschließend werden die SiO₂-Kugeln **6** auf chemischem Wege herausgelöst, beispielsweise durch Ätzen mit Flußsäure. Der Durchmesser der verwendeten SiO₂-Kugeln **6** liegt hierbei im Bereich zwischen 100 und 250 nm.

[0044] Geeignete UV-emittierende und/oder kurzweiliges blaues Licht emittierende Leuchtdiodenchips und dafür geeignete Lumineszenzkonversionsstoffe sind dem Fachmann bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert. Es können beispielsweise herkömmliche UV-emittierende und/oder kurzweilig blau emittierende Leuchtdiodenchips und herkömmliche dafür geeignete Leuchtstoffe eingesetzt werden.

[0045] Bei den Ausführungsbeispielen gemäß den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) wird im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) ein Chipträger **2** verwendet, der eine Ausnehmung aufweist, in die der Leuchtdiodenchip **1** montiert wird. Zur Erhöhung der Strahlungsausbeute des Bauelements können die Seiten der Chipträgerausnehmung reflektierende Elemente **8** enthalten. Die Chipträgerausnehmung ist weiterhin vollständig mit einer polymeren Masse **41** mit eingebetteten Lumineszenzkonversionspartikeln **42** ausgefüllt, so dass diese zusammen mit dem Chipträger **2** eine im Wesentlichen plane Oberfläche bildet. Auf dieser im Wesentlichen planen Oberfläche

ist ein Träger **9** angebracht, auf dem eine Schicht photonischen Kristalls **51** aufgebracht ist. Der Träger **9** kann hierbei beispielsweise mittels Kleben befestigt werden.

[0046] Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) ist der Träger **9** so auf der planen Oberfläche angebracht, dass der photonische Kristall **51** dem Lumineszenzkonversionselement **4** zugewandt ist. Im Unterschied hierzu ist bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 3](#) der Träger **9** genau umgekehrt angebracht, so dass der photonische Kristall **51** vom dem Lumineszenzkonversionselement **4** abgewandt ist. Der Träger **9** kann in einem nachfolgenden Schritt auch entfernt werden.

[0047] Wird der photonische Kristall **51** auf einen Träger **9** aufgebracht, kann als Trägermaterial beispielsweise Quarz, Glas, eine transparente Keramik oder ein Hochtemperaturpolymer verwendet werden. Das Trägermaterial muss im Wesentlichen transparent für die von dem Lumineszenzkonversionselement **4** konvertierte Strahlung sein.

[0048] Auf diesen Träger **9** werden kolloidale Teilchen wie beispielsweise Polystyrolkugeln **6** oder SiO₂-Kugeln **6** mit Hilfe eines selbstorganisierenden Prozesses, wie beispielsweise eines elektrophoretischen Schrittes aufgebracht (vergleiche [Fig. 4b](#)).

[0049] Ein weiterer selbstorganisierender Prozess zur Aufbringung von Kugeln **6** in einer kubischen oder hexagonal dichtesten Kugelpackung (vergleiche [Fig. 4b](#)) umfasst beispielsweise das Eintrocknen einer Suspension mit Kugeln **6** auf dem Träger **9**. Zur Herstellung dicker Schichten können hierbei mehrere Verdunstungsprozesse notwendig sein.

[0050] Sollen die Kugeln **6** mit Hilfe eines elektrophoretischen Schrittes auf dem Träger **9** aufgebracht werden, muss der Träger **9** elektrisch leitfähig sein. Hierzu kann beispielsweise eine elektrisch leitende Schicht aufgebracht sein, die im Wesentlichen ebenfalls transparent für von dem Lumineszenzkonversionselement **4** umgewandelte Strahlung ist. Eine solche Schicht umfasst beispielsweise Indium-Zinn-Oxid (ITO).

[0051] In einem weiteren Schritt werden nachfolgend die Zwischenräume **7** zwischen den Kugeln **6** mit einem weiteren Material, wie beispielsweise TiO₂ oder SiO₂ aufgefüllt (vergleiche [Fig. 4](#)). Dies kann beispielsweise mit Hilfe eines Sol-Gel-Verfahrens erfolgen. Hierbei wird ein metallorganisches Startmaterial, beispielsweise Titanisopropoxid oder Tetraethylorthosilikat in einer alkoholischen Lösung auf die Struktur aus Polystyrol- oder SiO₂-Kugeln **6** aufgebracht. Dazu wird der Träger **9** mit den Kugeln **6** entweder in die Lösung getaucht oder die Lösung wird auf die Struktur aus Kugeln **6** aufgebracht. Je nach

Zusammensetzung der Lösung ist ein solcher Schritt mehrmals erforderlich, wobei der Träger **9** mit den Kugeln **6** zwischen den Schritten jeweils getrocknet wird. Es ist auch denkbar, dass zwischen den Schritten eine Kalzinierung bei geringeren Temperaturen, wie beispielsweise 300 °C erfolgt.

[0052] Abschließend erfolgt eine Kalzinierung bei der zum einen die zwischen den Kugeln **6** entstandenen Gele durch Abspaltung der organischen Reste in Oxide umgewandelt und gesintert werden. Zum anderen werden die Kugeln **6** bei der Kalzinierung ausgebrannt, sofern es sich um Polystyrolkugeln **6** handelt.

[0053] Die Zwischenräume **7** zwischen Kugeln **6** können auch mit Hilfe eines elektrophoretischen Schrittes mit Material gefüllt werden. Dies bietet sich insbesondere an, wenn bereits die Kugeln **6** mit Hilfe eines elektrophoretischen Schrittes abgeschieden wurden. Der Träger **9** wird hierzu in einer Suspension platziert, die ein nanoskaliges Oxid wie beispielsweise TiO₂ oder SiO₂ enthält. Die Partikel des Oxides müssen hierbei kleiner als 10 nm und gegen Agglomerieren geschützt sein.

[0054] Alternativ können die Zwischenräume **7** zwischen den Kugeln **6** auch mit Hilfe eines Chemical-Vapor-Deposition Verfahrens (CVD-Verfahren) aufgefüllt werden.

[0055] Werden die Zwischenräume **7** zwischen Polystyrolkugeln **6** nicht mit Hilfe eines Sol-Gel-Verfahrens mit Material gefüllt; sondern beispielsweise elektrophoretisch oder mit Hilfe eines CVD-Verfahrens, werden die Polystyrolkugeln **6** in einem Ofen bei 450°C bis 600° C über zwei bis zehn Stunden an Luft ausgebrannt. Hierbei erfolgt gleichzeitig eine Sinterung des Materials in den Zwischenräumen **7**.

[0056] Alternativ ist es auch denkbar, die Polystyrolkugeln **6** auf chemischen Wege zu entfernen, beispielsweise falls es nicht möglich ist, bei der Herstellung des photonischen Kristalls erhöhte Temperaturen anzuwenden.

[0057] Wird die periodische Struktur mit Hilfe von SiO₂-Kugeln **6** erzeugt, wird das Material in den Zwischenräumen **7** erst in einem Ofen gesintert, wobei hierbei auch höhere Temperaturen verwendet werden können, als bei der Verwendung von Polystyrolkugeln **6**. In einem nachfolgenden Schritt werden SiO₂-Kugeln **6** mit einer Flusssäurelösung aus dem Material in den Zwischenräumen **7** herausgeätzt, unter der Voraussetzung, dass die Zwischenräume nicht mit SiO₂ oder Si gefüllt sind.

[0058] Neben den bereits erwähnten Materialien TiO₂, SiO₂, Si und Ge ist es auch denkbar, die Zwischenräume **7** zwischen den Kugeln **6** mit polymeren

Materialien oder auch mit Hybridmaterialien aus Polymeren und einem nanoskaligen Pulver, wie SiO₂ oder TiO₂, zu füllen.

Patentansprüche

1. Bauelement, das geeignet ist elektromagnetische Strahlung zu emittieren, mit:

- mindestens einer primären Strahlungsquelle (**1**), die geeignet ist, elektromagnetische Primärstrahlung eines ersten Wellenlängenbereiches zu emittieren,
- mindestens einem Lumineszenzkonversionselement (**4**), das zumindest einen Teil der von der primären Strahlungsquelle stammenden Strahlung in Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereiches konvertiert, der zumindest teilweise vom ersten Wellenlängenbereich verschieden ist, und
- einem dem Lumineszenzkonversionselement (**4**) aus Sicht der primären Strahlungsquelle nachgeordneten Filterelement (**5**) mit einem dreidimensionalen photonischen Kristall (**51**), der Strukturen umfasst, die sich in drei Raumrichtungen periodisch fortsetzen, wobei der photonische Kristall (**51**) derart ausgelegt ist, dass er für zur Emission unerwünschte Strahlung des ersten Wellenlängenbereiches weitestgehend undurchlässig ist und diese reflektiert, und gleichzeitig für Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches weitestgehend durchlässig ist und wobei der photonische Kristall auf einem Träger aufgebracht ist, der zumindest teilweise durchlässig für die von dem Lumineszenzkonversionselement konvertierte Strahlung ist, und der Träger mit dem photonischen Kristall auf dem Lumineszenzkonversionselement aufgebracht ist.

2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem eine elektrisch leitende Schicht auf dem Träger aufgebracht ist, die für von dem Lumineszenzkonversionselement umgewandelte Strahlung transparent ist.

3. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der photonische Kristall mit dem Träger auf einer im planen Oberfläche des Lumineszenzkonversionselements befestigt ist.

4. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Filterelement (**5**) zumindest einen Teil der Primärstrahlung in das Lumineszenzkonversionselement (**4**) zurück reflektiert.

5. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der photonische Kristall (**51**) dreidimensionale periodische inverse Opalstrukturen umfasst.

6. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche bei dem der photonische Kristall (**51**) periodische Strukturen mit Lufteinschlüssen umfasst.

7. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der photonische Kristall (**51**) mindestens ein Material umfasst, dessen Brechungsindex größer oder gleich 1,4 ist.

8. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der photonische Kristall (**51**) periodische Strukturen mit mindestens einem der Materialien TiO_2 , SiO_2 , Si und Ge umfasst.

9. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der photonische Kristall (**51**) in einer Schicht mit einer Dicke größer oder gleich $2\ \mu\text{m}$ und kleiner oder gleich $50\ \mu\text{m}$ ausgebildet ist.

10. Bauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die primäre Strahlungsquelle (**1**) mindestens eine Leuchtdiode aufweist, die geeignet ist, elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im ultravioletten Bereich und/oder blauen Bereich des sichtbaren Lichtes zu emittieren.

11. Bauelement gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der photonische Kristall Strukturen mit einer Ausdehnung von 100 nm bis 250 nm umfasst und eine photonische Bandlücke aufweist, die im UV-Bereich oder im UV-nahen Bereich des sichtbaren Lichtes liegt.

12. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes, das geeignet ist elektromagnetische Strahlung zu emittieren, mit den Schritten:

- Bereitstellen mindestens einer primären Strahlungsquelle (**1**), die geeignet ist elektromagnetische Strahlung zu emittieren, mit mindestens einer Strahlung emittierenden Seite,
- Aufbringen eines Lumineszenzkonversionselementes (**4**) zumindest auf die Strahlung emittierende Seite der primären Strahlungsquelle (**1**), und
- Aufbringen eines dreidimensionalen photonischen Kristalls (**51**) auf einen Träger (**9**), der zumindest teilweise durchlässig für die von dem Lumineszenzkonversionselement konvertierte Strahlung ist, und
- Aufbringen des Trägers mit dem photonischen Kristall auf das Lumineszenzkonversionselement (**4**).

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem vor dem Aufbringen des photonischen Kristall (**51**) auf den Träger (**9**) eine elektrisch leitende Schicht auf den Träger aufgebracht wird, die für von dem Lumineszenzkonversionselement umgewandelte Strahlung transparent ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 13, bei dem während des Aufbringens des photonischen Kristalls (**51**) eine Selbstorganisation kolloidaler Teilchen (**6**) erfolgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem das Aufbringen des photonischen Kristalls (**51**) mindes-

tens einen elektroforetischen Verfahrensschritt zur Aufbringung kolloidaler Teilchen umfasst.

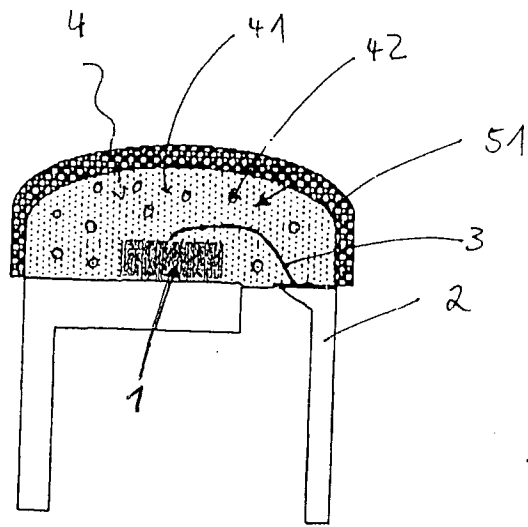
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 oder 15, bei dem als kolloidale Teilchen Kugeln mit einem Durchmesser größer oder gleich 100 nm und kleiner oder gleich 250 nm verwendet werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, bei dem Zwischenräume zwischen den kolloidalen Teilchen mit einem Füllmaterial gefüllt werden und das Füllen der Zwischenräume mit dem Füllmaterial einen elektroforetischen Verfahrensschritt umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem das Füllen der Zwischenräume gleichzeitig mit dem Aufbringen der kolloidalen Teilchen oder nachfolgend auf das Aufbringen der kolloidalen Teilchen erfolgt.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Stand der Technik

Fig. 1

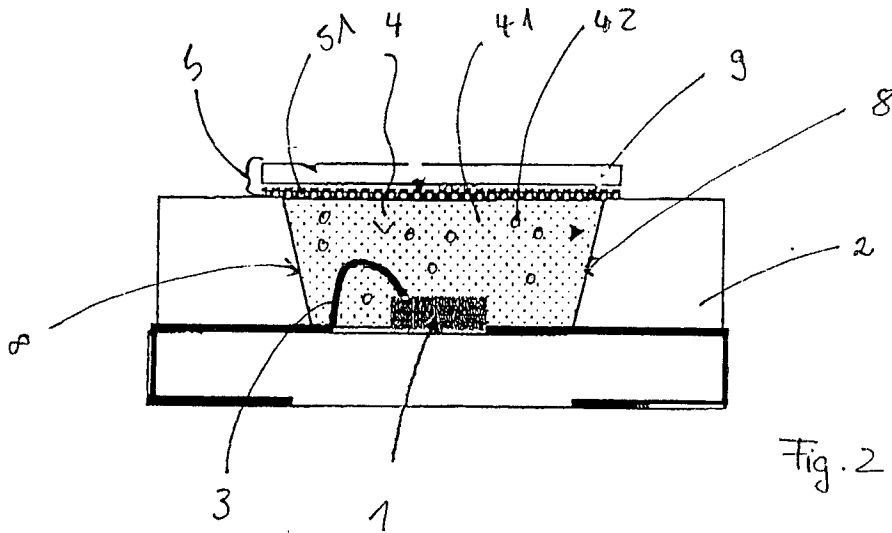


Fig. 2

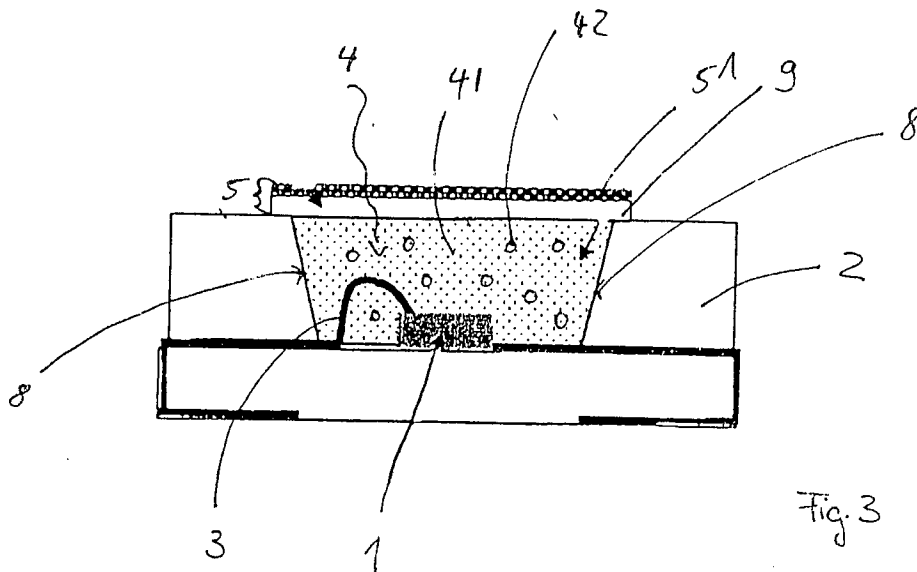


Fig. 3

