



(10) **DE 10 2018 120 584 A1** 2020.02.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 120 584.8**  
(22) Anmeldetag: **23.08.2018**  
(43) Offenlegungstag: **27.02.2020**

(51) Int Cl.: **H01L 33/50 (2010.01)**  
**C09K 11/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93055  
Regensburg, DE**

(72) Erfinder:  
**Tangring, Ivar, Dr., 93047 Regensburg, DE;  
Roemer, Rebecca, Dr., 93047 Regensburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Epping Hermann Fischer  
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,  
DE**

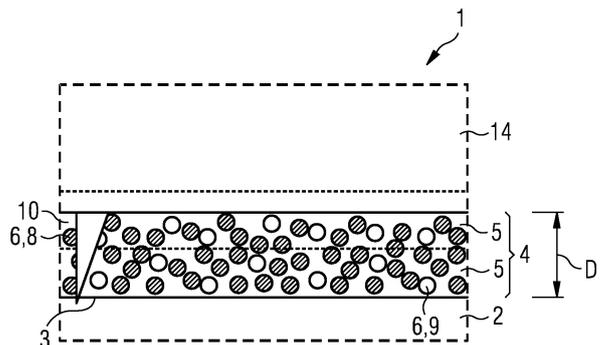
(56) Ermittelte Stand der Technik:  
**US 2017 / 0 373 231 A1**  
**US 2018 / 0 198 040 A1**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **OPTOELEKTRONISCHES HALBLEITERBAUELEMENT UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG  
EINES OPTOELEKTRONISCHEN HALBLEITERBAUELEMENTS**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) angegeben, mit:  
- einem Halbleiterchip (2), der im Betrieb elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche (3) aussendet,  
- einer Konversionsschicht (4), die mindestens zwei Einzelkonversionsschichten (5) umfasst, wobei  
- jede Einzelkonversionsschicht (5) einen Leuchtstoff aufweist, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs zumindest teilweise in elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt, und  
- eine Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten (5) voneinander verschieden ist.  
Darüber hinaus wird ein Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements (1) angegeben.



## Beschreibung

**[0001]** Es wird ein optoelektronisches Halbleiterbauelement angegeben. Darüber hinaus wird ein Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements angegeben.

**[0002]** Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein Konversionselement mit erhöhter Effizienz und/oder verbessertem Wärmemanagement anzugeben. Zusätzlich soll ein Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements angegeben werden.

**[0003]** Diese Aufgaben werden durch ein optoelektronisches Halbleiterbauelement mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Schritten des Patentanspruchs 14 gelöst.

**[0004]** Vorteilhafte Ausführungsformen des optoelektronischen Halbleiterbauelements und des Verfahrens sind Gegenstand der jeweils abhängigen Ansprüche.

**[0005]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst das optoelektronische Halbleiterbauelement einen Halbleiterchip, der im Betrieb elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche aussendet. Bevorzugt weist der optoelektronische Halbleiterchip, wie beispielsweise ein Leuchtdiodenchip, eine epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge mit einer aktiven Zone auf, die dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung zu erzeugen. Hierzu weist die aktive Zone beispielsweise einen pn-Übergang, eine Doppelheterostruktur, eine Einfachquantentopf- oder besonders bevorzugt eine Mehrfachquantentopfstruktur auf. Bevorzugt emittiert der Halbleiterchip elektromagnetische Strahlung aus einem blauen Wellenlängenbereich.

**[0006]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das optoelektronische Halbleiterbauelement eine Konversionsschicht auf. Die Konversionsschicht ist bevorzugt auf der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips angeordnet. Die Konversionsschicht wandelt elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs um, der von dem ersten Wellenlängenbereich verschieden ist.

**[0007]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Konversionsschicht mindestens zwei Einzelkonversionsschichten auf. Es ist auch möglich, dass die Konversionsschicht mehr als zwei Einzelkonversionsschichten aufweist. Weiterhin kann das Konversionselement aus zwei oder mehr als zwei Einzelkonversionsschichten bestehen. Bevorzugt sind die Einzelkonversionsschichten der Kon-

versionsschicht in einer Stapelrichtung übereinander angeordnet. Beispielsweise stehen jeweils zwei Einzelkonversionsschichten in direktem Kontakt miteinander.

**[0008]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist jede Einzelkonversionsschicht einen Leuchtstoff auf, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt. Mit anderen Worten verleiht der Leuchtstoff den Einzelkonversionsschichten und der Konversionsschicht bevorzugt wellenlängenkonvertierende Eigenschaften.

**[0009]** Mit dem Begriff „wellenlängenkonvertierend“ ist vorliegend gemeint, dass eingestrahlte elektromagnetische Strahlung eines bestimmten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung eines anderen, bevorzugt längerwelligen, Wellenlängenbereichs umgewandelt wird. In der Regel absorbiert ein wellenlängenkonvertierendes Element elektromagnetische Strahlung eines eingestrahlten Wellenlängenbereichs, wandelt diese durch elektronische Vorgänge auf atomarer und/oder molekularer Ebene in elektromagnetische Strahlung eines anderen Wellenlängenbereichs um und sendet die umgewandelte elektromagnetische Strahlung wieder aus. Insbesondere wird reine Streuung oder reine Absorption nicht als wellenlängenkonvertierend verstanden.

**[0010]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der Leuchtstoff einen Aktivator. Bevorzugt ist der Aktivator in ein kristallines, beispielsweise keramisches, Wirtsgitter eingebracht. Der Aktivator verleiht dem Leuchtstoff bevorzugt die wellenlängenkonvertierenden Eigenschaften. Die elektronische Struktur des Aktivators wird durch das Einbringen in das Wirtsgitter derart verändert, dass elektromagnetische Strahlung der Anregungswellenlänge in dem Material absorbiert wird und einen elektronischen Übergang in dem Aktivator-basierten Leuchtstoff anregt, der unter Aussenden von elektromagnetischer Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs wieder in den Grundzustand übergeht. Besonders bevorzugt ist eine Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten verschieden voneinander.

**[0011]** Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterbauelements weist der Leuchtstoff ein Wirtsgitter auf, in das ein Aktivator eingebracht ist. Hierbei sind das Wirtsgitter und der Aktivator des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten besonders bevorzugt gleich. Mit anderen Worten weisen die Einzelkonversionsschichten bevorzugt jeweils einen Leuchtstoff auf, der sich lediglich hinsichtlich der Aktivatorkonzentration unterscheidet.

**[0012]** Weiterhin ist es auch möglich, dass sich das Wirtsgitter der Leuchtstoffe der Einzelkonversionsschichten hinsichtlich seiner Elementzusammensetzung unterscheidet, aber nicht hinsichtlich seiner zugrunde liegenden Kristallstruktur. Beispielsweise umfassen die Einzelkonversionsschichten jeweils einen Granat-Leuchtstoff mit einer Wurtzitkristallstruktur, wobei jedoch die Gitterplätze mit verschiedenen Elementen besetzt sind. So kann eine der Einzelkonversionsschichten beispielsweise einen YAG-Leuchtstoff mit der chemischen Formel  $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$  aufweisen, während eine andere Einzelkonversionsschicht einen LuAG-Leuchtstoff der chemischen Formel  $Lu_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$  aufweist, bei dem das Yttrium vollständig durch Lutetium ersetzt ist. Weisen die Einzelkonversionsschichten jeweils einen Nitrid-Leuchtstoff, etwa einen SCASN-Leuchtstoff mit der chemischen Formel  $(Ca,Sr)AlSiN_3:Eu^{2+}$  und einer orthorhombischen Kristallstruktur auf, so kann sich beispielsweise das Verhältnis von Ca zu Sr in den Einzelkonversionsschichten unterscheiden.

**[0013]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das optoelektronische Halbleiterbauelement einen Halbleiterchip, der im Betrieb elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche aussendet und eine Konversionsschicht, die mindestens zwei Einzelkonversionsschichten umfasst. Jede Einzelkonversionsschicht weist bei dieser Ausführungsform einen Leuchtstoff auf, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs zumindest teilweise in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt, wobei eine Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten voneinander verschieden ist.

**[0014]** Gemäß einer Ausführungsform ist die Konversionsschicht auf der Strahlungsausstrittsfläche angebracht. Bevorzugt weist die Einzelkonversionsschicht, die näher an der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, einen Leuchtstoff auf, dessen Aktivatorkonzentration kleiner ist als die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist.

**[0015]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Konversionsschicht eine Vielzahl an Einzelkonversionsschichten auf. Bevorzugt nimmt die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten von der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips ausgehend zu. Beispielsweise nimmt die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten von der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips ausgehend kontinuierlich zu.

**[0016]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des optoelektronischen Halbleiterbauelements ist der

Leuchtstoff als eine Vielzahl an Leuchtstoffpartikel ausgebildet. Die Leuchtstoffpartikel sind bevorzugt in eine Matrix eingebettet. Die Leuchtstoffpartikel weisen bevorzugt einen Durchmesser zwischen einschließlich 1 Mikrometer und einschließlich 70 Mikrometer, besonders bevorzugt zwischen einschließlich 5 und einschließlich 50 Mikrometer auf.

**[0017]** Beispielsweise weist der Leuchtstoff einer Einzelkonversionsschicht einen Absorptionsquerschnitt auf, der von dem Absorptionsquerschnitt des Leuchtstoffs einer weiteren Einzelkonversionsschicht verschieden ist. Der Absorptionsquerschnitt ist abhängig von der Eindringtiefe der elektromagnetischen Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs in den Leuchtstoffpartikel, der Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffpartikels und der Fläche des Leuchtstoffpartikels. Besonders bevorzugt ist der Absorptionsquerschnitt ein Maß dafür, wie viel elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs von dem Leuchtstoff aufgenommen und in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs umgewandelt wird.

**[0018]** Bevorzugt weist die Matrix ein Silikon, ein Epoxid oder eine Mischung dieser Materialien auf oder ist aus einem Silikon, einem Epoxid oder einer Mischung dieser Materialien gebildet.

**[0019]** Gemäß einer Ausführungsform ist die Konzentration der Leuchtstoffpartikel in der Matrix zwischen einschließlich 15 Vol.-% und einschließlich 50 Vol.-%. Bevorzugt ist die Konzentration der Leuchtstoffpartikel in der Matrix zwischen einschließlich 20 Vol.-% und einschließlich 25 Vol.-%. Beispielsweise liegt die Konzentration der Leuchtstoffpartikel in der Matrix bei ungefähr 23 Vol.-%.

**[0020]** Gemäß einer Ausführungsform weist das optoelektronische Halbleiterbauelement Leuchtstoffpartikel auf, die einen Granat-Leuchtstoff und/oder einen Nitrid-Leuchtstoff umfassen oder aus einem Granat-Leuchtstoff und/oder einem Nitrid-Leuchtstoff gebildet sind. Bevorzugt weist der Nitrid-Leuchtstoff Europium als Aktivator auf und der Granat-Leuchtstoff Cer.

**[0021]** Bei dem Nitrid-Leuchtstoff kann es sich beispielsweise um ein Erdalkalisiliziumnitrid, ein Oxynitrid, ein Aluminiumoxinitrid, ein Siliziumnitrid oder ein Sialon handeln. Beispielsweise handelt es sich bei dem Nitrid-Leuchtstoff um  $(Ca,Sr,Ba)AlSiN_3:Eu^{2+}$ ,  $(Ca,Sr)AlSiN_3:Eu^{2+}$  (SCASN),  $Sr(Ca,Sr)Al_2Si_2N_6:Eu^{2+}$  oder  $M_2Si_5N_8:Eu^{2+}$  mit  $M = Ca, Ba$  oder  $Sr$  alleine oder in Kombination. Bevorzugt weist der Nitrid-Leuchtstoff Europium als Aktivator auf. Besonders bevorzugt konvertiert der Nitrid-Leuchtstoff elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs. Der zweite Wellenlängenbereich

liegt bevorzugt im roten Wellenlängenbereich. Bevorzugt wird von dem Nitrid-Leuchtstoff elektromagnetische Strahlung im blauen Wellenlängenbereich absorbiert und in elektromagnetische Strahlung im roten Wellenlängenbereich konvertiert.

**[0022]** Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Granat-Leuchtstoff um einen LuAG-Leuchtstoff mit der chemischen Formel  $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ , LuA-GaG-Leuchtstoff mit der chemischen Formel  $\text{Lu}_3(\text{Al}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ , einen YAG-Leuchtstoff mit der chemischen Formel  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ , einen YAGaG-Leuchtstoff mit der chemischen Formel  $\text{Y}_3(\text{Al}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  oder einen anderen Granat-Leuchtstoff der allgemeinen chemischen Formel  $(\text{Lu}, \text{Y})_3(\text{Al}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$ . Besonders bevorzugt konvertiert der Granat-Leuchtstoff elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs. Der zweite Wellenlängenbereich liegt bevorzugt im grünen und/oder gelben Wellenlängenbereich. Bevorzugt wird von dem Granat-Leuchtstoff elektromagnetische Strahlung im blauen Wellenlängenbereich absorbiert und in elektromagnetische Strahlung im grünen und/oder gelben Wellenlängenbereich konvertiert.

**[0023]** Handelt es sich bei dem Leuchtstoff um einen Granat-Leuchtstoff, so liegt die Aktivatorkonzentration des Granat-Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, bevorzugt zwischen einschließlich 0,5 Mol-% und einschließlich 2 Mol-%.

**[0024]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform liegt die Aktivatorkonzentration des Granat-Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, zwischen einschließlich 1,5 Mol-% und einschließlich 5 Mol-%.

**[0025]** Handelt es sich bei dem Leuchtstoff um einen Nitrid-Leuchtstoff, so liegt die Aktivatorkonzentration des Nitrid-Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, bevorzugt zwischen einschließlich 0,5 Mol-% und einschließlich 8 Mol-%.

**[0026]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform liegt die Aktivatorkonzentration des Nitrid-Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, zwischen einschließlich 6 Mol-% und einschließlich 20 Mol-%.

**[0027]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform unterscheidet sich die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, von der Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, um mindestens 0,5 Mol-%. Liegt die Aktivatorkonzentration

des Granat-Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht, die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, bei 0,5 Mol-%, so ist die Aktivatorkonzentration in der Einzelkonversionsschicht, die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, bevorzugt größer, besonders bevorzugt größer als 1. Beispielsweise liegt die Aktivatorkonzentration bei ungefähr 1 Mol-%.

**[0028]** Gemäß einer Ausführungsform weist die Konversionsschicht eine Vielzahl an Einzelkonversionsschichten auf und eine Dicke der Einzelkonversionsschichten nimmt ausgehend von der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips ab. Beispielsweise weist die Konversionsschicht zwei Einzelkonversionsschichten auf, wobei die Einzelkonversionsschicht, die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, eine geringere Dicke aufweist als die Einzelkonversionsschicht, die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist. Dünne Einzelkonversionsschichten führen aufgrund von kürzeren Wegen der Wärme zu einem Kühlkörper zu einer Reduzierung einer Maximaltemperatur in den Einzelkonversionsschichten, welches zu einer verlängerten Lebensdauer des optoelektronischen Halbleiterbauelements führt. Die Wärme der Einzelkonversionsschichten wird in der Regel über den Halbleiterchip, der als Kühlkörper dient, abgeleitet. Auf diese Art und Weise wird die Maximaltemperatur in dem Halbleiterbauelement mit Vorteil verringert. Eine geringe Maximaltemperatur führt mit Vorteil zu einer geringeren Degradation der Matrix.

**[0029]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das optoelektronische Halbleiterbauelement Einzelkonversionsschichten, die einen rot emittierenden Leuchtstoff und/oder einen grün emittierenden Leuchtstoff und/oder einen gelb emittierenden Leuchtstoff aufweisen. Beispielsweise weisen die Einzelkonversionsschichten einen Granat-Leuchtstoff und einen Nitrid-Leuchtstoff auf. Besonders bevorzugt wandeln die Leuchtstoffe nur einen Teil der elektromagnetischen Strahlung des Halbleiterchips um, während ein Teil der elektromagnetischen Strahlung des Halbleiterchips unkonvertiert bleibt. Bevorzugt emittiert das Halbleiterbauelement hierbei weißes Licht.

**[0030]** Bevorzugt handelt es sich bei dem rot emittierenden Leuchtstoff um einen Nitrid-Leuchtstoff, wie etwa  $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba})\text{AlSiN}_3$  mit Europium als Aktivator. Insbesondere emittieren die Granat-Leuchtstoffe elektromagnetische Strahlung aus dem grünen und gelben Wellenlängenbereich. Bevorzugt umfasst die Konversionsschicht zwischen einschließlich 15 Vol.-% und einschließlich 50 Vol.-% an Leuchtstoffpartikeln, besonders bevorzugt zwischen einschließlich 20 Vol.-% und einschließlich 25 Vol.-% an Leuchtstoffpartikeln, wobei beispielsweise zwischen einschließlich 70 Vol.-% und einschließlich 95 Vol.-%

% von den Leuchtstoffpartikeln Granat-Leuchtstoffe sind. Beispielsweise beträgt der Anteil der Granat-Leuchtstoffe an den Leuchtstoffpartikeln ungefähr 85 Vol.-%.

**[0031]** Beispielsweise wird elektromagnetische Strahlung aus dem blauen Wellenlängenbereich des Halbleiterchips teilweise in den Leuchtstoffen zu elektromagnetischer Strahlung aus dem grünen, gelben und/oder roten Wellenlängenbereich umgewandelt. Der grüne Wellenlängenbereich liegt beispielsweise zwischen einschließlich 490 Nanometer und einschließlich 550 Nanometer. Der gelbe Wellenlängenbereich liegt beispielsweise zwischen einschließlich 550 Nanometer und einschließlich 590 Nanometer. Der rote Wellenlängenbereich liegt beispielsweise zwischen einschließlich 590 Nanometer und einschließlich 780 Nanometer. Mittels des rot emittierenden Leuchtstoffs und/oder des grün emittierenden Leuchtstoffs und/oder des gelb emittierenden Leuchtstoffs ist es mit Vorteil möglich, aus blauer Strahlung eines Halbleiterbauelements Mischlicht mit einem Farbort im weißen Bereich zu erzeugen.

**[0032]** Gemäß einer Ausführungsform wandelt die Konversionsschicht des optoelektronischen Halbleiterbauelements elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs möglichst vollständig in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs um. Hierbei sendet der Halbleiterchip bevorzugt elektromagnetische Strahlung aus dem blauen und/oder ultravioletten Spektralbereich aus. Dies erzielt eine besonders hohe Effizienz des Halbleiterbauelements.

**[0033]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das optoelektronische Halbleiterbauelement ein optisches Element. Das optische Element ist bevorzugt auf oder über einer Oberfläche der Konversionsschicht, die parallel zu der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips angeordnet ist, angeordnet. Bevorzugt weist das optische Element einen Kunststoff oder ein Glas auf oder ist aus einem Kunststoff oder einem Glas gebildet. Besonders bevorzugt weist das optische Bauelement ein Silikon auf oder ist aus einem Silikon gebildet.

**[0034]** Das optoelektronische Halbleiterbauelement kann mit dem im Folgenden beschriebenen Verfahren hergestellt werden. Merkmale und Ausführungsformen, die lediglich in Verbindung mit dem Halbleiterbauelement ausgeführt sind, können auch bei dem Verfahren eingesetzt werden und umgekehrt.

**[0035]** Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements wird zunächst ein Halbleiterchip, der im Betrieb elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche aussendet, bereitgestellt.

**[0036]** Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens wird eine Konversionsschicht aufgebracht, bevorzugt nachfolgend in Abstrahlungsrichtung über der Strahlungsausstrittsfläche. Die Konversionsschicht wird bevorzugt in direktem Kontakt auf der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips angeordnet.

**[0037]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist die Konversionsschicht mindestens zwei Einzelkonversionsschichten auf. Bevorzugt werden die Einzelkonversionsschichten in einer Stapelrichtung übereinander angeordnet. Beispielsweise stehen jeweils zwei Einzelkonversionsschichten in direktem Kontakt miteinander.

**[0038]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist jede Einzelkonversionsschicht einen Leuchtstoff auf, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt.

**[0039]** Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens weist der Leuchtstoff einen Aktivator auf. Besonders bevorzugt ist die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten voneinander verschieden. Bevorzugt weist die Einzelkonversionsschicht, die am nächsten an der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, eine niedrigere Aktivatorkonzentration auf als die Einzelkonversionsschicht, die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist.

**[0040]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens werden die Einzelkonversionsschichten der Konversionsschicht nacheinander mittels Sprühbeschichten aufgebracht. Bevorzugt wird hierbei zunächst eine Einzelkonversionsschicht mit einem Leuchtstoff einer niedrigeren Aktivatorkonzentration auf die Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips aufgebracht. Der Leuchtstoff ist hierbei bevorzugt als Leuchtstoffpartikel in einer Matrix eingebracht, die zunächst in flüssiger Form vorliegt. Besonders bevorzugt wird anschließend eine dünnere Einzelkonversionsschicht mit einem Leuchtstoff einer höheren Aktivatorkonzentration auf die Einzelkonversionsschicht mit einer niedrigeren Aktivatorkonzentration aufgebracht. Auch hierbei liegt der Leuchtstoff bevorzugt als Leuchtstoffpartikel vor, die in eine flüssige Matrix eingebracht sind.

**[0041]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens liegen die Leuchtstoffe ebenfalls als Leuchtstoffpartikel vor, die in eine Matrix eingebettet sind. Die Matrix ist hierbei zunächst bevorzugt flüssig ausgebildet. Die Leuchtstoffpartikel werden bevorzugt in der Matrix sedimentiert.

**[0042]** Bei einem Sedimentationsverfahren wird die zu beschichtende Oberfläche in der Regel in einem Volumen bereitgestellt, das mit der Matrix, die die Leuchtstoffpartikel umfasst, befüllt wird. Anschließend setzen sich die Leuchtstoffpartikel aufgrund der Schwerkraft auf der zu beschichtenden Oberfläche ab. Das Absetzen der Leuchtstoffpartikel kann hierbei auch durch Zentrifugieren beschleunigt werden. Auch die Verwendung einer verdünnten Matrix beschleunigt den Sedimentationsprozess in der Regel. Nach dem Absinken der Leuchtstoffpartikel wird die Matrix bevorzugt ausgehärtet.

**[0043]** Ein Kennzeichen einer Konversionsschicht und/oder einer Einzelkonversionsschicht, die mittels eines Sedimentationsverfahrens aufgebracht wurde, besteht darin, dass sämtliche Oberflächen, auf denen sich die Leuchtstoffpartikel aufgrund der Schwerkraft absetzen können, mit der Konversionsschicht und/oder der Einzelkonversionsschicht beschichtet sind. Weiterhin stehen die Leuchtstoffpartikel einer sedimentierten Konversionsschicht und/oder einer sedimentierten Einzelkonversionsschicht in der Regel in direktem Kontakt miteinander.

**[0044]** Gemäß einer Ausführungsform des Verfahrens werden Leuchtstoffpartikel bereitgestellt, die eine Vielzahl erster Leuchtstoffpartikel und eine Vielzahl zweiter Leuchtstoffpartikel umfassen, wobei die ersten Leuchtstoffpartikel eine höhere Aktivatorkonzentration als die zweiten Leuchtstoffpartikel aufweisen und die ersten Leuchtstoffpartikel leichter sind als die zweiten Leuchtstoffpartikel. Besonders bevorzugt weisen die ersten Leuchtstoffpartikel und die zweiten Leuchtstoffpartikel hierbei das gleiche Wirtsgitter oder die gleiche Kristallstruktur des Wirtsgitters und den gleichen Aktivator auf und unterscheiden sich lediglich in der Aktivatorkonzentration.

**[0045]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens werden die Leuchtstoffpartikel in die Matrix eingebracht und sedimentiert, so dass bei der Sedimentation eine Einzelkonversionsschicht mit ersten Leuchtstoffpartikeln und eine Einzelkonversionsschicht mit zweiten Leuchtstoffpartikeln entsteht, wobei die Einzelkonversionsschicht mit den ersten Leuchtstoffpartikeln weiter von der Strahlungsausstrittsfläche des Halbleiterchips entfernt ist als die Einzelkonversionsschicht mit den zweiten Leuchtstoffpartikeln. Das heißt, dass die Einzelkonversionsschicht, die direkt an der Strahlungsausstrittsfläche angeordnet ist, größere Leuchtstoffpartikel mit einer geringeren Aktivatorkonzentration aufweist, wohingegen die Einzelkonversionsschicht, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, kleinere Leuchtstoffpartikel mit einer höheren Aktivatorkonzentration aufweist.

**[0046]** Eine Idee des vorliegenden Halbleiterbauelements ist es, in der Konversionsschicht mindes-

tens zwei Einzelkonversionsschichten vorzusehen, deren Leuchtstoffpartikel sich lediglich hinsichtlich ihrer Aktivatorkonzentration unterscheiden, während das Wirtsgitter oder die Kristallstruktur des Wirtsgitters und der Aktivator gleich sind. Bevorzugt ist die Aktivatorkonzentration in der Einzelkonversionsschicht, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche entfernt ist, höher. Da die Intensität der Strahlung des Halbleiterchips mit dem Abstand von der Strahlungsausstrittsfläche in der Regel kontinuierlich abnimmt, meist exponentiell, wird auf diese Art und Weise der Anteil an konvertierter Strahlung so eingestellt, dass die Gesamtkonversion eine kritische Grenze möglichst nicht überschreitet, bei der die Effizienz abnimmt. Die Aktivatorkonzentration innerhalb der Konversionsschicht kann so hinsichtlich des Konversionsgrads und des Wärmemanagements optimiert werden. Insbesondere kann auf diese Art und Weise die Maximaltemperatur innerhalb des Halbleiterbauelements mit Vorteil verringert werden.

**[0047]** Die verringerte Maximaltemperatur innerhalb des Halbleiterbauelements ermöglicht mit Vorteil die Verwendung von Materialien für die Matrix, die eine geringere thermische Stabilität aufweisen wie beispielsweise Silikone mit einem erhöhten Brechungsindex. Dies erhöht in der Regel den Anteil an elektromagnetischer Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs, die aus dem Halbleiterchip ausgekoppelt wird, und erniedrigt die Streuung an den Leuchtstoffpartikeln. Diese Effekte führen in der Regel mit Vorteil zu einer erhöhten Helligkeit des Halbleiterbauelements.

**[0048]** Außerdem führt die verringerte Maximaltemperatur innerhalb des Halbleiterbauelements mit Vorteil zu geringeren Löschungseffekten (Quenching-Effekten) innerhalb des Leuchtstoffs. Auch dies erhöht die Helligkeit des Halbleiterbauelements.

**[0049]** Außerdem ist es vorliegend möglich, dünnere Konversionsschichten zu erzielen, so dass sich die gesamte Dicke des Halbleiterbauelements mit Vorteil erniedrigt.

**[0050]** Schließlich ist der Schwarz-Weiß-Kontrast an einer Kante der Konversionsschicht mit Vorteil in der Regel erhöht, da die laterale Verteilung der elektromagnetischen Strahlung innerhalb der Konversionsschicht in der Regel verringert ist.

**[0051]** Weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Halbleiterbauelements und des Verfahrens ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispielen.

**[0052]** Es zeigen:

**Fig. 1** und **Fig. 2** jeweils eine schematische Schnittdarstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß einem Ausführungsbeispiel,

**Fig. 3** einen schematischen Verlauf der relativen Strahlungsintensität von blauem Licht, das von dem Halbleiterchip ausgesandt wird, in Abhängigkeit vom Abstand  $d$  von der Strahlungsaustrittsfläche gemäß dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** und **Fig. 2**,

**Fig. 4** bis **Fig. 6** jeweils eine schematische Schnittdarstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß jeweils einem Ausführungsbeispiel,

**Fig. 7** bis **Fig. 10** schematische Schnittdarstellungen verschiedener Verfahrensstadien eines Verfahrens zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements gemäß einem Ausführungsbeispiel.

**[0053]** Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Figuren und die Größenverhältnisse der in den Figuren dargestellten Elemente untereinander sind nicht als maßstäblich zu betrachten. Vielmehr können einzelne Elemente, insbesondere Schichtdicken, zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

**[0054]** Das optoelektronische Halbleiterbauelement **1** gemäß dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** und **Fig. 2** umfasst einen Halbleiterchip **2** und eine Konversionsschicht **4**. Der Halbleiterchip **2** sendet im Betrieb elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs, vorliegend blaues Licht, von einer Strahlungsaustrittsfläche **3** aus.

**[0055]** Die Konversionsschicht **4** ist auf der Strahlungsaustrittsfläche **3** angebracht. Außerdem weist das optoelektronische Halbleiterbauelement **1** ein optisches Element **14** auf, die die Abstrahlcharakteristik des Halbleiterbauelements auf gewünschte Art und Weise einstellt.

**[0056]** Der Halbleiterchip **2** ist auf einer thermischen Anschlussstelle **16** eines Anschlusssträgers angebracht. Seitlich ist der Halbleiterchip **2** von einem diffus reflektierenden Verguss **17** umgeben. Beispielsweise weist der diffus reflektierende Verguss **17** ein Silikon mit Titandioxidpartikeln auf.

**[0057]** Die Konversionsschicht **4** weist mindestens zwei Einzelkonversionsschichten **5** auf. Die Einzelkonversionsschichten **5** sind in der vergrößerten Darstellung der **Fig. 2**, die den in **Fig. 1** mit einem Rechteck markierten Ausschnitt darstellt, zu sehen. Jede Einzelkonversionsschicht **5** weist einen Leuchtstoff auf, der elektromagnetische Strahlung eines ersten

Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt. Die Aktivatorkonzentration der Leuchtstoffe in den Einzelkonversionsschichten **5** ist voneinander verschieden, während das Wirtsgitter oder die Kristallstruktur des Wirtsgitters und der Aktivator gleich sind.

**[0058]** In die Einzelkonversionsschichten **5** sind Leuchtstoffpartikel **6** in einer Matrix **10** eingebettet. Die Leuchtstoffpartikel **6** weisen einen Granat-Leuchtstoff **8** und/oder einen Nitrid-Leuchtstoff **9** auf oder sind aus diesem gebildet. Bei dem Granat-Leuchtstoff **8** kann es sich beispielsweise um eine Mischung aus einem LuAGaG-Leuchtstoff und einem YAG-Leuchtstoff handeln, während der Nitrid-Leuchtstoff **9** beispielsweise ein SCASN-Leuchtstoff sein kann. Der Granat-Leuchtstoff **8** wandelt vorliegend blaues Licht des Halbleiterchips **2** in gelb-grüne Strahlung um, während der Nitrid-Leuchtstoff **9** blaues Licht des Halbleiterchips **2** in rote Strahlung konvertiert. Zusammen mit unkonvertierter blauer Strahlung des Halbleiterchips sendet das Halbleiterbauelement mischfarbige weiße Strahlung aus, bevorzugt im weißen Bereich. Beispielsweise weist die korrelierte Farbtemperatur der mischfarbigen Strahlung einen Wert von ungefähr 5000 K auf, während der Farbwiedergabeindex der mischfarbigen Strahlung beispielsweise mindestens 70 beträgt.

**[0059]** Eine Aktivatorkonzentration der Leuchtstoffpartikel **6** des Granat-Leuchtstoffs **8** nimmt von der Strahlungsaustrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** ausgehend zu. Beispielsweise weist die Einzelkonversionsschicht **5**, die näher an der Strahlungsaustrittsfläche **3** angeordnet ist, einen Granat-Leuchtstoff **8** auf, dessen Aktivatorkonzentration kleiner ist als die Aktivatorkonzentration des Granat-Leuchtstoffs **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsaustrittsfläche **3** positioniert ist. Die Matrix weist vorliegend ein Silikon auf.

**[0060]** Die Dicke  $d_n$  der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsaustrittsfläche **3** entfernt ist, lässt sich ausgehend von einer herkömmlichen Konversionsschicht, die lediglich eine einzige Einzelkonversionsschicht der Dicke  $2 \cdot d_0$  aufweist, beispielsweise mit der folgenden Formel ermitteln:

$$d_n = \left[ \frac{\text{vol}\%_{pg}}{\left(\frac{c_n}{c_0}\right)} + (\text{vol}\%_{pa} - \text{vol}\%_{pg}) \right] \times d_0,$$

wobei  $\text{vol}\%_{pg}$  der Volumenanteil der Granat-Leuchtstoffe **8** und  $\text{vol}\%_{pa}$  1 sind. Mit  $c_0$  ist außerdem die Aktivatorkonzentration der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die näher an der Strahlungsaustrittsfläche **3** angeordnet ist, und mit  $c_n$  die

Aktivatorkonzentration der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt ist, bezeichnet.

**[0061]** Für die Werte  $d_0=30$  Mikrometer,  $\text{vol}\%_{\text{pg}}=0,85$ ,  $c_n=2$  und  $c_0=1$  ergibt sich hieraus:

$$d_n = \left[ \frac{0,85}{\left(\frac{2}{1}\right)} + 0,15 \right] \times 30 \mu m = 17,25 \mu m.$$

**[0062]** Die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** ergibt sich hieraus ungefähr zu  $30$  Mikrometer +  $17,25$  Mikrometer =  $47,3$  Mikrometer. Verglichen mit einer herkömmlichen Konversionsschicht, die eine Dicke von  $60$  Mikrometer aufweist, ist die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** um ungefähr  $21$  % reduziert.

**[0063]** Bei den Granat-Leuchtstoffen **8** wird bei dem oben ausgeführten Rechenbeispiel der Absorptionsquerschnitt in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt ist, ungefähr verdoppelt. Das heißt, die Anzahl der Leuchtstoffpartikel **6** kann in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt ist, reduziert werden. Hieraus resultiert auch eine verringerte Dicke dieser Einzelkonversionsschicht **5**. Dünnere Einzelkonversionsschichten **5** führen mit Vorteil aufgrund von kürzeren Wegen der Wärme zu dem Halbleiterchip **2**, der als Kühlkörper dient, zu einer Reduzierung der Maximaltemperatur in den Einzelkonversionsschichten **5**, welches zu einer verlängerten Lebensdauer des optoelektronischen Halbleiterbauelements **1** führt.

**[0064]** **Fig. 3** zeigt einen schematischen Verlauf der relativen Strahlungsintensität **I** des blauen Lichts des Halbleiterchips **2** in % innerhalb der Konversionsschicht **4** in Abhängigkeit des Abstands **d** in Mikrometer von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2**. Die Intensität des blauen Lichts nimmt hierbei exponentiell ab. Die relative Intensität von  $100$  % bezieht sich auf die Strahlungsintensität, die von dem Halbleiterchip **2** an der Strahlungsausstrittsfläche **3** emittiert wird.

**[0065]** Die Leuchtstoffpartikel **6** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt sind, spüren aufgrund der exponentiellen Abnahme der Strahlungsintensität eine geringere Strahlungsintensität als die Leuchtstoffe, die näher an der Strahlungsausstrittsfläche **3** angeordnet sind.

**[0066]** Der Absorptionsquerschnitt der Granat-Leuchtstoffe **8** wird also verdoppelt und die Leuchtstoffpartikel **6** werden an einer Position relativ zur Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** ein-

gesetzt, an der die Strahlungsdichte des blauen Lichts halb so groß ist.

**[0067]** Das optoelektronische Halbleiterbauelement **1** gemäß dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 4** weist eine Konversionsschicht **4** auf, die auf dem Halbleiterchip **2** angeordnet ist. Die Konversionsschicht **4** weist zwei Einzelkonversionsschichten **5**, mit Leuchtstoffpartikeln **6** eingebettet in einer Matrix **10**, auf. Die Einzelkonversionsschichten **5** weisen einen rot emittierenden Leuchtstoff und/oder einen grün emittierenden Leuchtstoff und/oder einen gelb emittierenden Leuchtstoff auf. Die Leuchtstoffe sind in eine Matrix **10** eingebettet. Bei dem rot emittierenden Leuchtstoff handelt es sich um einen Nitrid-Leuchtstoff **9**, wohingegen es sich bei dem grün beziehungsweise gelb emittierenden Leuchtstoff um einen Granat-Leuchtstoff **8** handelt. Das Halbleiterbauelement emittiert weißes Licht.

**[0068]** Oberhalb der Konversionsschicht **4** ist ein optisches Element **14**, beispielsweise eine Linse, angeordnet. Beispielsweise kann durch eine Erhöhung der Aktivatorkonzentration der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt ist, die Dicke der Einzelkonversionsschicht **5** wesentlich verringert werden.

**[0069]** Das optoelektronische Halbleiterbauelement gemäß dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 5** unterscheidet sich von dem in der **Fig. 2** dargestellten Ausführungsbeispiel in den Leuchtstoffpartikeln **6**. Es sind hier nur Granat-Leuchtstoffe **8** in der Konversionsschicht **4** eingebettet. Hierbei handelt es sich vorliegend um Granat-Leuchtstoffe, die blaue Strahlung in grün-gelbe Strahlung umwandeln. Die Einzelkonversionsschichten **5** weisen vorliegend also lediglich zwei verschiedene Leuchtstoffe auf. Hierbei wird die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs, also das blaue Licht des Halbleiterchips **2**, möglichst vollständig von dem Leuchtstoff in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs, also grün-gelbes Licht, umgewandelt. Zur vollständigen Umwandlung der elektromagnetischen Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs einer Vollkonversion wird eine vergleichsweise große Dicke **D** der Konversionsschicht **4** benötigt, um die von dem Halbleiterchip **2** emittierte elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs möglichst vollständig zu absorbieren. Die Konversionsschicht **4** wird in zwei oder mehrere Einzelkonversionsschichten **5**, die übereinander angeordnet sind, aufgeteilt. Durch eine höhere Aktivatorkonzentration der Leuchtstoffpartikel **6** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt ist, kann deren Dicke reduziert werden. Aufgrund der geringeren Strahlungsintensität in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt ist, kön-

nen thermische und optische Löschungseffekte (thermisches und optisches Quenching) in individuellen Leuchtstoffpartikeln **6** verringert werden. Die Einzelkonversionsschichten **5** können beispielsweise mittels Sprühbeschichten aufgebracht sein.

**[0070]** Die Dicke **D** einer herkömmlichen Konversionsschicht beträgt beispielsweise ungefähr 120 Mikrometer. Das blaue Licht des Halbleiterchips **2** wird vorliegend mindestens zu 98 % von der Konversionsschicht **4** konvertiert.

**[0071]** Weist die Dicke **D** der herkömmlichen Konversionsschicht **120** Mikrometer auf, so kann die Einzelkonversionsschicht **5**, die näher an der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** angeordnet ist, eine Dicke von ungefähr 21 Mikrometer und einen einfachen Absorptionsquerschnitt aufweisen. Verdoppelt sich nun der Absorptionsquerschnitt der Granat-Leuchtstoffe in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist, so halbiert sich ungefähr die Dicke der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist. Für die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** folgt hieraus 21 Mikrometer + ca. (99/2) Mikrometer = ca. 70 Mikrometer. Die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** kann somit durch Verdoppelung des Absorptionsquerschnitts der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt angeordnet ist, um ungefähr 50 Mikrometer gegenüber der Dicke einer herkömmlichen Konversionsschicht verringert werden.

**[0072]** Weist die Dicke **D** der herkömmlichen Konversionsschicht **120** Mikrometer auf, so kann die Einzelkonversionsschicht **5**, die näher an der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** angeordnet ist, eine Dicke von ungefähr 33 Mikrometer und einen einfachen Absorptionsquerschnitt aufweisen. Verdreifacht sich nun der Absorptionsquerschnitt der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist, so verringert sich die Dicke der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist, ungefähr um 2/3. Für die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** folgt hieraus 33 Mikrometer + (87/2) Mikrometer = 62 Mikrometer. Die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** kann somit durch Verdreifachung des Absorptionsquerschnitts der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** entfernt angeordnet ist, ungefähr halbiert werden.

**[0073]** Weist die Dicke **D** der herkömmlichen Konversionsschicht **120** Mikrometer auf, so kann die Einzelkonversionsschicht **5**, die näher an der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** ange-

ordnet ist, eine Dicke von ungefähr 41 Mikrometer und einen einfachen Absorptionsquerschnitt aufweisen. Vervierfacht sich nun der Absorptionsquerschnitt der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist, so verringert sich die Dicke der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist, ungefähr um 3/4. Für die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** folgt hieraus 41 Mikrometer + (79/4) Mikrometer = 61 Mikrometer. Dieser Wert der Dicke **D** der Konversionsschicht **4** ist somit nur unwesentlich kleiner als der Wert der Dicke **D** einer Konversionsschicht **4**, bei der der Absorptionsquerschnitt der Granat-Leuchtstoffe **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist, verdreifacht wurde. Daher ist dieser Wert vermutlich eine Untergrenze für die Dicke **D** der Konversionsschicht **4**, die mit dem vorliegenden Konzept erzielt werden kann.

**[0074]** Das optoelektronische Halbleiterbauelement gemäß dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 6** unterscheidet sich von dem in der **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispiel in der Anzahl der Einzelkonversionsschichten **5**. Es werden anstatt zwei Einzelkonversionsschichten **5** drei Einzelkonversionsschichten **5** verwendet. Vorliegend werden Granat-Leuchtstoffe **8** mit drei verschiedenen Aktivatorkonzentrationen und damit auch mit drei verschiedenen Absorptionsquerschnitten eingesetzt. Es wird eine Vollkonversion der elektromagnetischen Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs, vorliegend blaues Licht, angestrebt.

**[0075]** Beispielsweise weist die Einzelkonversionsschicht **5**, die am nächsten an der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** angeordnet ist, eine Aktivatorkonzentration  $c_0=1$  und eine Dicke von ungefähr 21 Mikrometer auf. In der in Abstrahlrichtung des Halbleiterchips **2** nachfolgenden Einzelkonversionsschicht **5** ist der Absorptionsquerschnitt der Granat-Leuchtstoff **8** verdoppelt, so dass sich die Dicke dieser Einzelkonversionsschicht **5** auf 10 Mikrometer reduziert. Schließlich weist die Konversionsschicht **4** eine Einzelkonversionsschicht **5** auf, die wiederum nachfolgend in Abstrahlrichtung des Halbleiterchips **2** angeordnet ist und am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt positioniert ist. Diese Einzelkonversionsschicht **5** weist vorliegend einen Granat-Leuchtstoff **8** auf, dessen Absorptionsquerschnitt gegenüber dem Absorptionsquerschnitt des Granat-Leuchtstoffs **8** in der Einzelkonversionsschicht **5**, die am nächsten an der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** angeordnet ist, vervierfacht ist. Diese Einzelkonversionsschicht **5** weist eine Dicke von ungefähr 20 Mikrometer auf. Die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** ergibt sich somit zu 51 Mikrometer ausgehend von

einer herkömmlichen Konversionsschicht **4** mit einer Dicke von ungefähr 120 Mikrometer. Die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** ist also deutlich kleiner als die Dicke einer herkömmlichen Konversionsschicht **4**. Das führt mit Vorteil zu einer Verringerung von Streuung und zu einer Reduzierung der Maximaltemperatur in der Konversionsschicht **4**.

**[0076]** Eine weitere Reduzierung der Dicke **D** der Konversionsschicht **4** kann erreicht werden, indem drei ähnlich dicke Einzelkonversionsschichten **5** verwendet werden. Beispielsweise weist die Einzelkonversionsschicht **5**, die am nächsten an der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** angeordnet ist, eine Dicke von 18 Mikrometern und Granat-Leuchtstoffe **8** mit einer Aktivatorkonzentration  $c_0=1$  auf. Die in Abstrahlrichtung direkt nachfolgend angeordnete Einzelkonversionsschicht **5** weist hingegen eine Dicke von ungefähr 14 Mikrometer und Granat-Leuchtstoffe **8** mit einem 1,8-fachen Absorptionsquerschnitt auf, die wiederum in Abstrahlrichtung nachfolgend angeordnet ist. Die Einzelkonversionsschicht **5** weist eine Dicke von ungefähr 14,5 Mikrometer und Granat-Leuchtstoffe **8** mit einem fünf-fachen Absorptionsquerschnitt auf. Die Dicke **D** der Konversionsschicht **4** ergibt sich hieraus zu ungefähr 46,5 Mikrometer und ist damit um ungefähr 61 % dünner ausgebildet verglichen mit der Dicke einer herkömmlichen Konversionsschicht **4** von ungefähr 120 Mikrometern.

**[0077]** Bei dem Verfahren gemäß dem Ausführungsbeispiel der **Fig. 7** bis **Fig. 10** wird in einem ersten Schritt eine Ausnehmung **24** bereitgestellt (**Fig. 7**).

**[0078]** In einem nächsten Schritt wird der Halbleiterchip **2**, der im Betrieb elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche aussendet, in die Ausnehmung **24** eingebracht (**Fig. 8**).

**[0079]** Wie in **Fig. 9** gezeigt, wird dann eine Matrix **10** mit Leuchtstoffpartikeln **6** in die Ausnehmung **24** eingebracht. Die Matrix liegt hierbei in flüssiger Form vor. Die Leuchtstoffpartikel **6** umfassen eine Vielzahl erster Leuchtstoffpartikel **22** und eine Vielzahl zweiter Leuchtstoffpartikel **23**, wobei die ersten Leuchtstoffpartikel **22** eine höhere Aktivatorkonzentration als die zweiten Leuchtstoffpartikel **23** aufweisen und die ersten Leuchtstoffpartikel **22** leichter sind als die zweiten Leuchtstoffpartikel **23**. Das Wirtsgitter oder zumindest dessen Kristallstruktur und der Aktivator sind hierbei gleich.

**[0080]** In einem nächsten Schritt werden die Leuchtstoffpartikel **6** in der Matrix **10** sedimentiert (**Fig. 10**). Bei der Sedimentation entsteht eine Einzelkonversionsschicht **5** mit ersten Leuchtstoffpartikeln **22** und eine Einzelkonversionsschicht **5** mit zweiten Leuchtstoffpartikeln **23**, wobei die Einzelkonversionsschicht

**5** mit den ersten Leuchtstoffpartikeln **22** weiter von der Strahlungsausstrittsfläche **3** des Halbleiterchips **2** entfernt ist als die Einzelkonversionsschicht **5** mit den zweiten Leuchtstoffpartikeln **23**. Hierbei wird in der Regel keine vollständige Trennung der ersten Leuchtstoffpartikel **22** und der zweiten Leuchtstoffpartikeln **23** in zwei verschiedene Einzelkonversionsschichten **5** erzielt. Dann wird die Matrix **10** ausgehärtet. Die Einzelkonversionsschichten **5** bilden die Konversionsschicht **4** aus.

**[0081]** Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Optoelektronisches Halbleiterbauelement
<b>2</b>	Halbleiterchip
<b>3</b>	Strahlungsausstrittsfläche
<b>4</b>	Konversionsschicht
<b>5</b>	Einzelkonversionsschicht
<b>6</b>	Leuchtstoffpartikel
<b>8</b>	Granat-Leuchtstoff
<b>9</b>	Nitrid-Leuchtstoff
<b>10</b>	Matrix
<b>14</b>	optisches Element
<b>16</b>	thermische Anschlussstelle
<b>17</b>	Verguss
<b>D</b>	Dicke der Konversionsschicht
<b>22</b>	erste Leuchtstoffpartikel
<b>23</b>	zweite Leuchtstoffpartikel
<b>24</b>	Ausnehmung

#### Patentansprüche

1. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) mit:
  - einem Halbleiterchip (2), der im Betrieb elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche (3) aussendet,
  - einer Konversionsschicht (4), die mindestens zwei Einzelkonversionsschichten (5) umfasst, wobei
  - jede Einzelkonversionsschicht (5) einen Leuchtstoff aufweist, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs zumindest teilweise in

elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt, und

- eine Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten (5) voneinander verschieden ist.

2. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach dem vorherigen Anspruch, bei dem der Leuchtstoff ein Wirtsgitter aufweist, in das ein Aktivator eingebracht ist, wobei das Wirtsgitter und/oder die Kristallstruktur des Wirtsgitters und der Aktivator des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten (5) gleich sind.

3. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem

- die Konversionsschicht (4) auf der Strahlungsausstrittsfläche (3) aufgebracht ist, und
- die Einzelkonversionsschicht (5), die näher an der Strahlungsausstrittsfläche (3) angeordnet ist, einen Leuchtstoff aufweist, dessen Aktivatorkonzentration kleiner ist als die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht (5), die weiter von der Strahlungsausstrittsfläche (3) entfernt ist.

4. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Konversionsschicht (4) eine Vielzahl an Einzelkonversionsschichten (5) aufweist und die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten (5) von der Strahlungsausstrittsfläche (3) des Halbleiterchips (2) ausgehend zunimmt.

5. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem

- der Leuchtstoff als eine Vielzahl an Leuchtstoffpartikeln (6) ausgebildet ist, und
- die Leuchtstoffpartikel (6) in eine Matrix (10) eingebettet sind.

6. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Leuchtstoffpartikel (6) einen Granat-Leuchtstoff (8) und/oder einen Nitrid-Leuchtstoff (9) aufweisen oder aus diesem gebildet sind.

7. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Konzentration der Leuchtstoffpartikel (6) in der Matrix (10) zwischen einschließlich 15 Vol.-% und einschließlich 50 Vol.-% liegt.

8. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem

- der Leuchtstoff ein Granat-Leuchtstoff (8) ist,
- die Aktivatorkonzentration des Granat-Leuchtstoffs (8) in der Einzelkonversionsschicht (5), die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche (3) angeordnet ist, zwischen einschließlich 0,5 Mol-% und einschließlich 2 Mol-% liegt, und

- die Aktivatorkonzentration des Granat-Leuchtstoffs (8) in der Einzelkonversionsschicht (5), die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche (3) entfernt ist, zwischen einschließlich 1,5 Mol-% und einschließlich 5 Mol-% liegt.

9. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem

- der Leuchtstoff ein Nitrid-Leuchtstoff (9) ist,
- die Aktivatorkonzentration des Nitrid-Leuchtstoffs (9) in der Einzelkonversionsschicht (5), die am nächsten von der Strahlungsausstrittsfläche (3) entfernt ist, zwischen einschließlich 0,5 Mol-% und einschließlich 8 Mol-% liegt, und
- die Aktivatorkonzentration des Nitrid-Leuchtstoffs (9) in der Einzelkonversionsschicht (5), die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche (3) entfernt ist, zwischen einschließlich 6 Mol-% und einschließlich 20 Mol-% liegt.

10. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem sich die Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht (5), die am weitesten von der Strahlungsausstrittsfläche (3) entfernt ist, zu der Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in der Einzelkonversionsschicht (5), die am nächsten zu der Strahlungsausstrittsfläche (3) angeordnet ist, mindestens um 0,5 Mol-% unterscheiden.

11. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem die Konversionsschicht (4) eine Vielzahl an Einzelkonversionsschichten (5) aufweist und eine Dicke der Einzelkonversionsschichten (5) von der Strahlungsausstrittsfläche (3) des Halbleiterchips (2) ausgehend abnimmt.

12. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der obigen Ansprüche, bei dem

- die Einzelkonversionsschichten (5) einen rot emittierenden Leuchtstoff und/oder einen grün emittierenden Leuchtstoff und/oder einen gelb emittierenden Leuchtstoff aufweisen, und
- das Halbleiterbauelement weißes Licht emittiert.

13. Optoelektronisches Halbleiterbauelement (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Konversionsschicht (4) die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs möglichst vollständig in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt.

14. Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Halbleiterbauelements (1) mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Halbleiterchips (2), der im Betrieb elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs von einer Strahlungsausstrittsfläche (3) aussendet,

- Aufbringen einer Konversionsschicht (4), die mindestens zwei Einzelkonversionsschichten (5) umfasst, wobei
- jede Einzelkonversionsschicht (5) einen Leuchtstoff aufweist, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs zumindest teilweise in elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs umwandelt, und
- eine Aktivatorkonzentration des Leuchtstoffs in den Einzelkonversionsschichten (5) voneinander verschieden ist.

15. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Einzelkonversionsschichten (5) nacheinander mittels Sprühbeschichten aufgebracht werden.

16. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem
- der Leuchtstoff als Leuchtstoffpartikel (6) vorliegt, die in eine Matrix (10) eingebettet sind, und
  - die Leuchtstoffpartikel (6) in der Matrix sedimentiert werden.

17. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, bei dem
- Leuchtstoffpartikel (6) bereitgestellt werden, die eine Vielzahl erster Leuchtstoffpartikel (22) und eine Vielzahl zweiter Leuchtstoffpartikel (23) umfassen, wobei die ersten Leuchtstoffpartikel (22) eine höhere Aktivatorkonzentration als die zweiten Leuchtstoffpartikel (23) aufweisen und die ersten Leuchtstoffpartikel (22) leichter sind als die zweiten Leuchtstoffpartikel (23),
  - die Leuchtstoffpartikel (6) in die Matrix (10) eingebracht und sedimentiert werden, so dass bei der Sedimentation eine Einzelkonversionsschicht (5) mit ersten Leuchtstoffpartikeln (6) und eine Einzelkonversionsschicht (5) mit zweiten Leuchtstoffpartikeln (23) entsteht, wobei die Einzelkonversionsschicht (5) mit den ersten Leuchtstoffpartikeln (22) weiter von der Strahlungsausstrittsfläche (3) des Halbleiterchips (2) entfernt ist als die Einzelkonversionsschicht (5) mit den zweiten Leuchtstoffpartikeln (23).

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

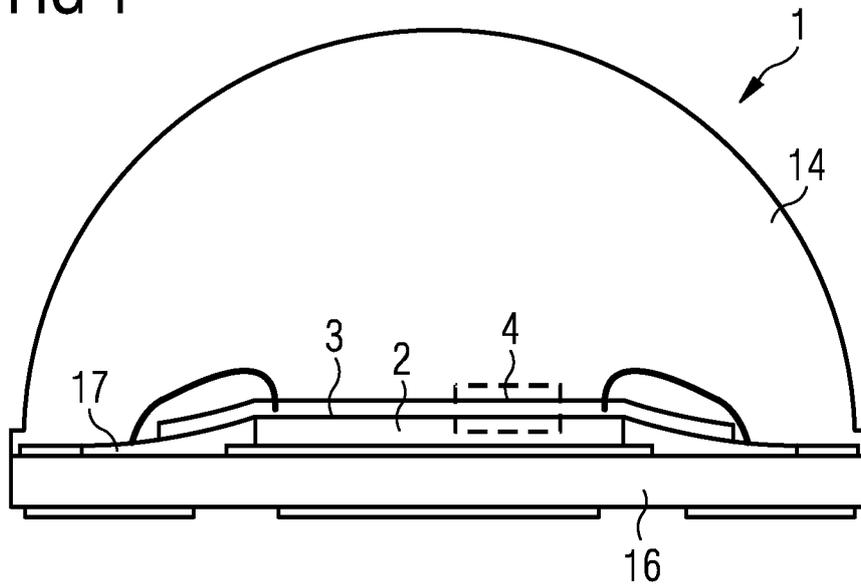


FIG 2

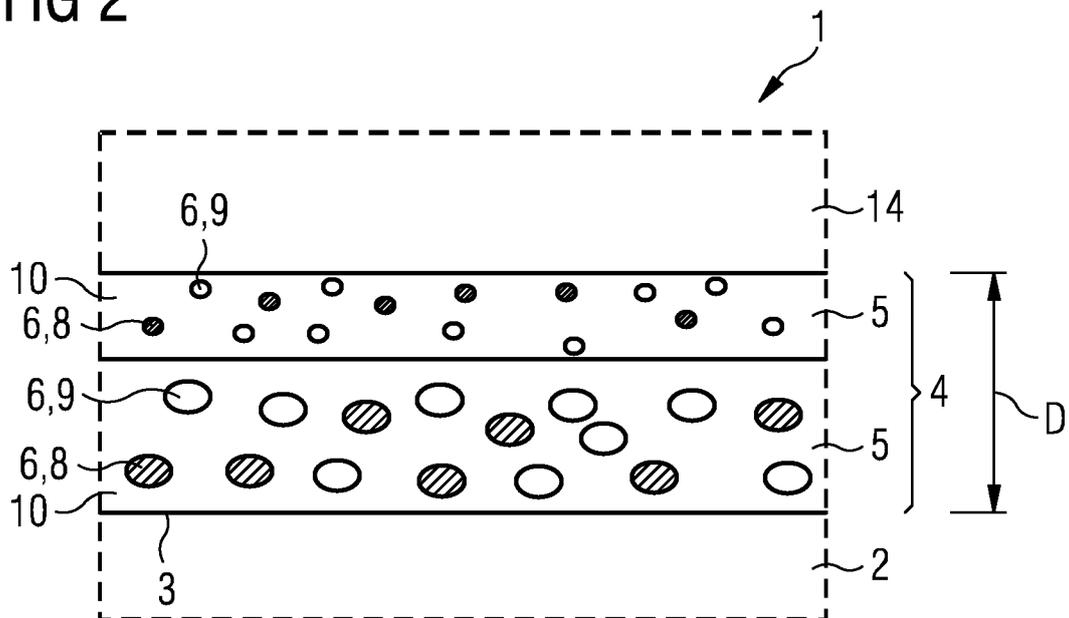


FIG 3

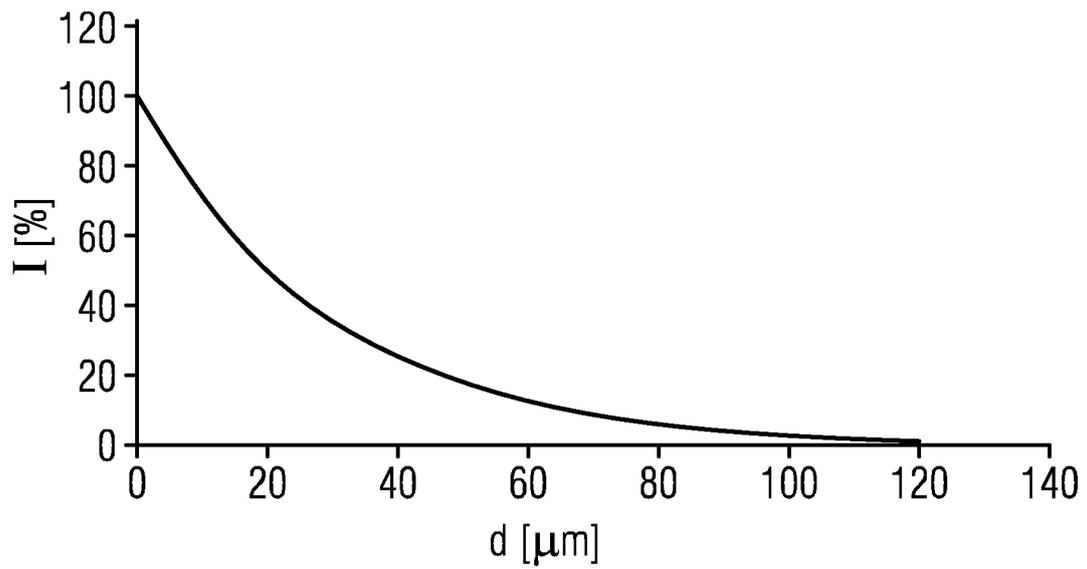


FIG 4

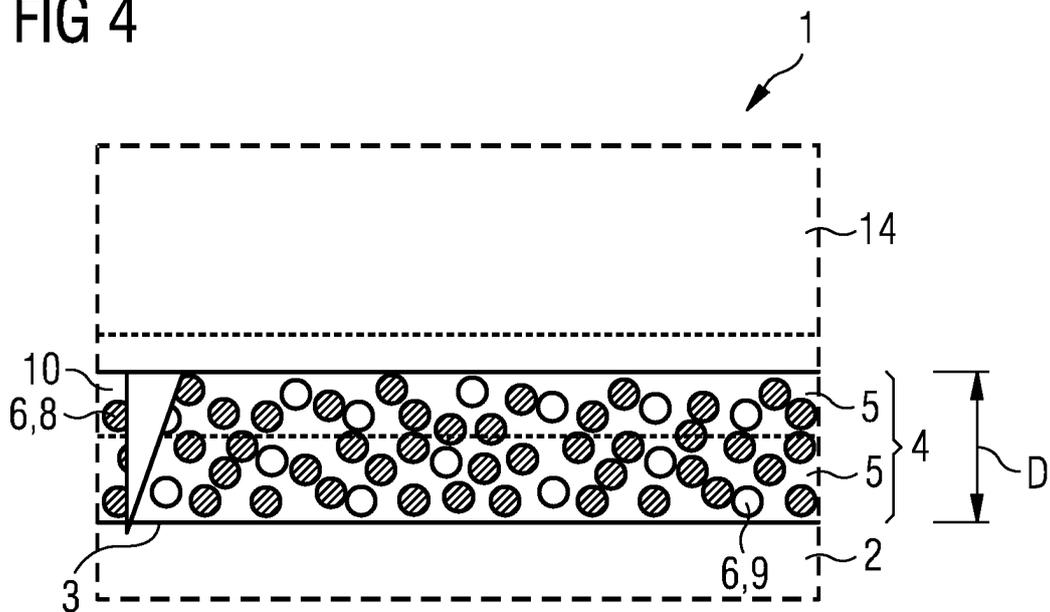


FIG 5

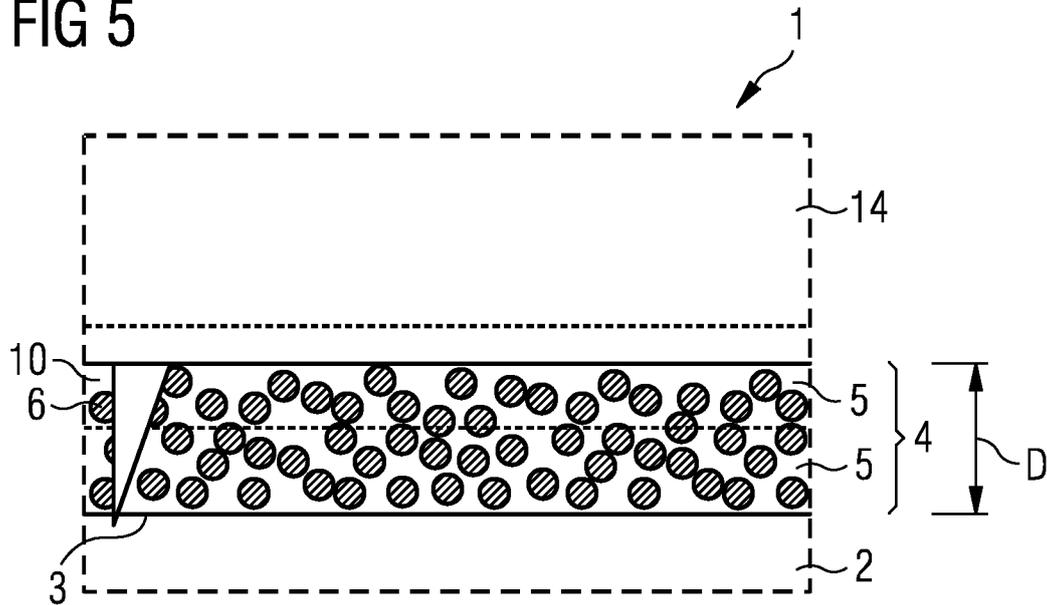


FIG 6

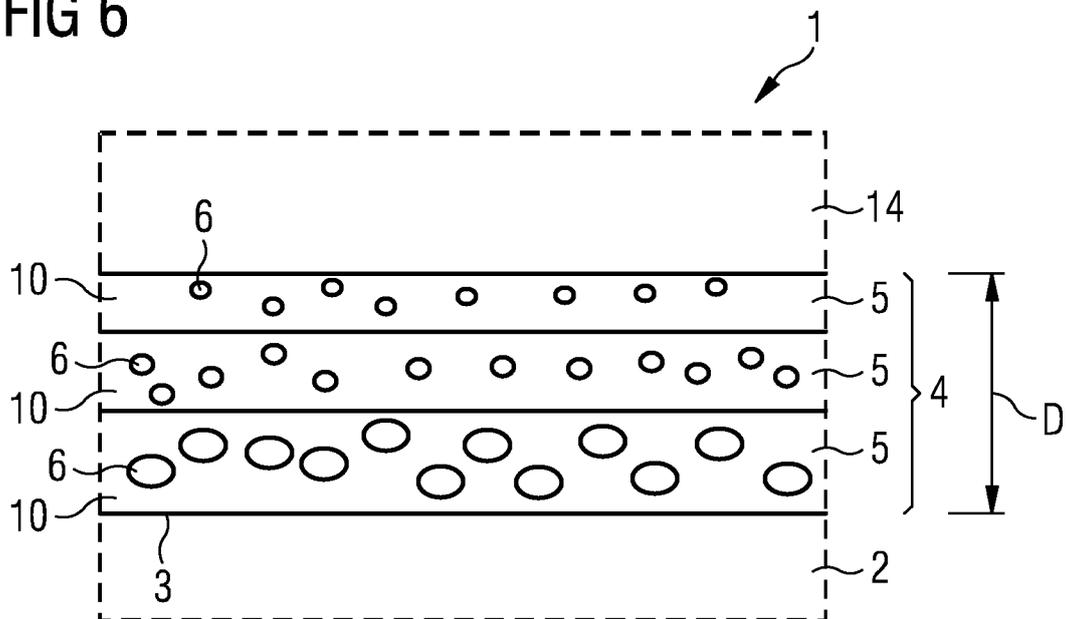


FIG 7

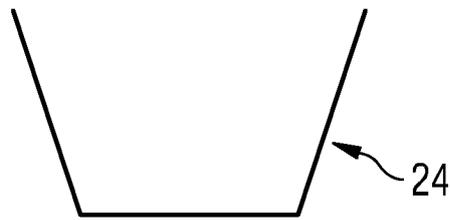


FIG 8

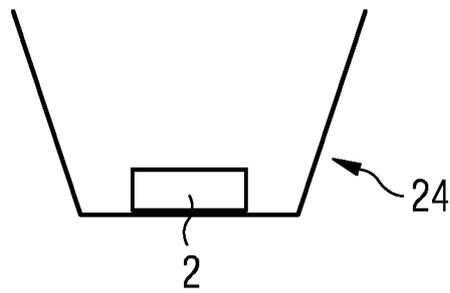


FIG 9

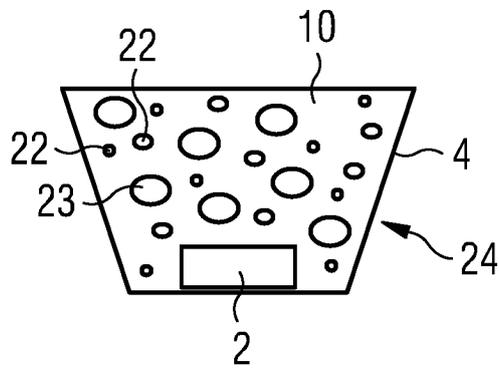


FIG 10

