





**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

## Beschreibung

Optoelektronisches Bauelement und Verfahren zu seiner Herstellung

5

Es werden ein optoelektronisches Bauelement sowie ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Bauelements angegeben.

10 Eine Aufgabe besteht darin, ein verbessertes optoelektronisches Bauelement bereitzustellen. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Bauelements anzugeben.

15 Es ist möglich, optoelektronische Bauelemente aus Halbleiter-Schichtstrukturen auszubilden, die leuchtaktive Schichten aufweisen. Die leuchtaktiven Schichten können zur Emission von beispielsweise infraroter oder sichtbarer elektromagnetischer Strahlung dienen. Bei im infraroten Spektralbereich  
20 emittierenden optoelektronischen Bauelementen ist es ferner möglich, zwei oder noch mehr leuchtaktive Schichten in der Halbleiter-Schichtstruktur, durch Tunnelübergänge getrennt, vertikal übereinander zu stapeln und elektrisch in Serie zu schalten.

25

Bei optoelektronischen Bauelementen mit Halbleiter-Schichtstrukturen aus Materialsystemen, die für eine Lichtemission im sichtbaren Spektralbereich geeignet sind, kommt es in Schichten, die den Tunnelübergang bilden (der Einfachheit  
30 halber im folgenden Tunnelübergang genannt), zwischen zwei derartig gestapelt übereinander angeordneten leuchtaktiven Schichten allerdings zu einer Absorption des emittierten Lichts, die die erreichbare Helligkeit des optoelektronischen

Bauelements reduziert. Dies hat zur Folge, dass optoelektronische Bauelemente mit zwei gestapelt angeordneten leuchtaktiven Schichten eine um bis zu 30 % geringere Lichtemission aufweisen können als zwei getrennte optoelektronische Bauelemente.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform umfasst das optoelektronische Bauelement eine Halbleiter-Schichtstruktur, die eine erste leuchtaktive Schicht und eine zweite leuchtaktive Schicht aufweist. Dabei ist zwischen der ersten leuchtaktiven Schicht und der zweiten leuchtaktiven Schicht ein erster Tunnelübergang ausgebildet. Ferner ist zwischen der ersten leuchtaktiven Schicht und dem ersten Tunnelübergang ein erster Bragg-Spiegel ausgebildet. Außerdem ist zwischen der zweiten leuchtaktiven Schicht und dem ersten Tunnelübergang ein zweiter Bragg-Spiegel ausgebildet. Vorteilhafterweise reflektieren die Bragg-Spiegel der Halbleiter-Schichtstruktur dieses optoelektronischen Bauelements elektromagnetische Strahlung, die aus den leuchtaktiven Schichten der Halbleiter-Schichtstruktur in Richtung des ersten Tunnelübergangs abgestrahlt wird. Dadurch wird vorteilhafterweise eine Absorption der elektromagnetischen Strahlung im ersten Tunnelübergang und eine dadurch bewirkte Reduzierung der Helligkeit des optoelektronischen Bauelements verhindert. Die durch die Bragg-Spiegel reflektierte elektromagnetische Strahlung wird nicht im ersten Tunnelübergang absorbiert, sondern kann von dem optoelektronischen Bauelement abgestrahlt oder, ohne Energieverlust, in der leuchtaktiven Schicht reabsorbiert werden.

30

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements ist der erste Bragg-Spiegel ausgebildet, elektromagnetische Strahlung zu reflektieren, die aus der ersten leuchtaktiven

Schicht auf den ersten Bragg-Spiegel trifft. Vorteilhafterweise kann aus der ersten leuchtaktiven Schicht auf den Bragg-Spiegel treffende elektromagnetische Strahlung dann nicht im ersten Tunnelübergang der Halbleiter-Schichtstruktur  
5 absorbiert werden.

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements ist die erste leuchtaktive Schicht ausgebildet, elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge aus einem ersten Wellenlängenintervall zu emittieren. Dabei ist der erste Bragg-Spiegel ausgebildet, elektromagnetische Strahlung mit einer  
10 Wellenlänge aus dem ersten Wellenlängenintervall zu reflektieren. Vorteilhafterweise ist der erste Bragg-Spiegel dadurch auf die Wellenlänge der von der ersten leuchtaktiven  
15 Schicht emittierten elektromagnetischen Strahlung abgestimmt, wodurch der erste Bragg-Spiegel eine hohe Reflektivität für diese Wellenlänge aufweist.

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements umfasst der erste Bragg-Spiegel eine Mehrzahl einander abwechselnder erster Schichten, die ein erstes Material aufweisen, und zweiter Schichten, die ein zweites Material aufweisen. Vorteilhafterweise kann an jedem Übergang zwischen einer ersten Schicht und einer zweiten Schicht des ersten Bragg-Spiegels und an jedem Übergang zwischen einer zweiten Schicht  
20 und einer ersten Schicht des Bragg-Spiegels ein Teil der elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden.

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements weist jedes Paar aus einer ersten Schicht und einer benachbarten zweiten Schicht zusammen eine optische Dicke auf, die mindestens so groß wie die Hälfte einer Wellenlänge von durch die erste leuchtaktive Schicht emittierter elektromagneti-  
30

scher Strahlung ist. Vorteilhafterweise können die an den Schichten des ersten Bragg-Spiegels reflektierten Anteile der durch die erste leuchtaktive Schicht emittierten elektromagnetischen Strahlung dadurch konstruktiv interferieren, wodurch sich eine hohe Reflektivität des ersten Bragg-Spiegels ergibt. Bevorzugt reflektiert der erste Bragg-Spiegel auch Strahlen, die nicht genau senkrecht auf den ersten Bragg-Spiegel treffen, mit hoher Reflektivität.

10 In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements sind das erste Material und das zweite Material Gruppe-III-Phosphide. Vorteilhafterweise kann die Halbleiter-Schichtstruktur des optoelektronischen Bauelements dabei ein Materialsystem aufweisen, das für eine Emission sichtbarer elektromagnetischer Strahlung geeignet ist.

In einer anderen Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements sind das erste Material und das zweite Material Gruppe-III-Nitride. Vorteilhafterweise kann auch hierbei die Halbleiter-Schichtstruktur aus einem Materialsystem bestehen, das für eine Emission sichtbarer elektromagnetischer Strahlung geeignet ist.

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements ist der erste Bragg-Spiegel n-dotiert und der zweite Bragg-Spiegel p-dotiert, oder der erste Bragg-Spiegel p-dotiert und der zweite Bragg-Spiegel n-dotiert. Vorteilhafterweise dienen die Bragg-Spiegel dadurch gleichzeitig zur Bereitstellung von Ladungsträgern für die benachbarten leuchtaktiven Schichten.

30

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements ist der zweite Bragg-Spiegel ausgebildet, elektromagnetische Strahlung zu reflektieren, die aus der zweiten leuchtaktiven

Schicht auf den zweiten Bragg-Spiegel trifft. Vorteilhafterweise wird dadurch verhindert, dass durch die zweite leuchtaktive Schicht emittierte elektromagnetische Strahlung im ersten Tunnelübergang der Halbleiter-Schichtstruktur des optoelektronischen Bauelements absorbiert wird.

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements umfasst der erste Tunnelübergang einen p-dotierten Bereich mit einem Dotiergrad von mindestens  $10^{20}$  pro Kubikzentimeter und einen n-dotierten Bereich mit einem Dotiergrad von mindestens  $10^{20}$  pro Kubikzentimeter. Vorteilhafterweise ermöglicht dies, den ersten Tunnelübergang mit guten elektrischen Eigenschaften auszubilden, wodurch das optoelektronische Bauelement einen hohen Wirkungsgrad aufweisen kann. Insbesondere kann der erste Tunnelübergang dadurch eine hohe Ladungsträgerkonzentration aufweisen. Ein Vorteil des optoelektronischen Bauelements besteht darin, dass eine mit den günstigen elektrischen Eigenschaften des ersten Tunnelübergangs einhergehende Erhöhung eines Absorptionsvermögens des ersten Tunnelübergangs nicht zu einer Reduzierung der Helligkeit des optoelektronischen Bauelements führt, da elektromagnetische Strahlung bereits vor Erreichen des ersten Tunnelübergangs an den Bragg-Spiegeln reflektiert wird.

In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements ist zwischen dem p-dotierten Bereich des ersten Tunnelübergangs und dem n-dotierten Bereich des ersten Tunnelübergangs eine Abstandsschicht angeordnet. Dabei weist die Abstandsschicht einen geringeren Dotiergrad auf als der p-dotierte Bereich des ersten Tunnelübergangs und ist bevorzugt undotiert. Vorteilhafterweise verhindert die Abstandsschicht eine Diffusion eines p-Dotierstoffs aus dem p-dotierten Bereich des ersten Tunnelübergangs in den n-dotierten Bereich des

ersten Tunnelübergangs, was eine Neutralisierung der n-Dotierung zur Folge hätte. Dadurch wird eine hohe Ladungsträgerdichte im ersten Tunnelübergang sichergestellt.

- 5 In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements ist die erste leuchtaktive Schicht als Quantenfilmstruktur ausgebildet. Vorteilhafterweise sind mit dem optoelektronischen Bauelement dadurch hohe Abstrahlleistungen erzielbar.
- 10 In einer Ausführungsform des optoelektronischen Bauelements weist die Halbleiter-Schichtstruktur eine dritte leuchtaktive Schicht auf. Dabei ist zwischen der zweiten leuchtaktiven Schicht und der dritten leuchtaktiven Schicht ein zweiter Tunnelübergang angeordnet. Zwischen der zweiten leuchtaktiven
- 15 Schicht und dem zweiten Tunnelübergang ist ein dritter Bragg-Spiegel ausgebildet. Zwischen der dritten leuchtaktiven Schicht und dem zweiten Tunnelübergang ist ein vierter Bragg-Spiegel ausgebildet. Vorteilhafterweise weist die Halbleiter-Schichtstruktur dieses optoelektronischen Bauelements drei
- 20 gestapelt übereinander angeordnete leuchtaktive Schichten auf, wodurch das optoelektronische Bauelement eine besonders hohe Helligkeit aufweisen kann. Hierdurch kann sich das optoelektronische Bauelement als helle Punktlichtquelle beispielsweise für Projektionsanwendungen eignen.
- 25 Ein Verfahren zum Herstellen eines optoelektronischen Bauelements umfasst Schritte zum Bereitstellen eines Substrats, zum Aufwachsen einer ersten leuchtaktiven Schicht, zum Aufwachsen eines ersten Bragg-Spiegels, zum Aufwachsen eines zweiten
- 30 Bragg-Spiegels, und zum Aufwachsen einer zweiten leuchtaktiven Schicht. Vorteilhafterweise ist durch dieses Verfahren ein optoelektronisches Bauelement mit einer Halbleiter-Schichtstruktur erhältlich, die zwei gestapelt übereinander

angeordnete leuchtaktive Schichten aufweist und dadurch eine besonders hohe Helligkeit erzielen kann. Vorteilhafterweise werden zwischen den leuchtaktiven Schichten zwei Bragg-Spiegel angeordnet, durch die verhindert werden kann, dass in den leuchtaktiven Schichten emittierte Strahlung in einem zwischen den leuchtaktiven Schichten befindlichen Tunnelübergang der Halbleiter-Schichtstruktur absorbiert wird. Dadurch können vorteilhafterweise durch eine Absorption bedingte Helligkeits- und Effizienzverluste des optoelektronischen Bauelements verhindert werden.

In einer Ausführungsform des Verfahrens umfasst dieses weitere Schritte zum Aufwachsen eines dritten Bragg-Spiegels, zum Aufwachsen eines vierten Bragg-Spiegels, und zum Aufwachsen einer dritten leuchtaktiven Schicht. Vorteilhafterweise weist die Halbleiter-Schichtstruktur des durch dieses Verfahren erhältlichen optoelektronischen Bauelements drei gestapelt übereinander angeordnete leuchtaktive Schichten auf, wodurch eine besonders helle Punktlichtquelle erhältlich ist.

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser von hier beschriebenen Bauelementen und Verfahren sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden können, werden noch klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen in jeweils schematisierter Darstellung

Figur 1 eine Halbleiter-Schichtstruktur mit zwei gestapelt übereinander angeordneten leuchtaktiven Schichten; und

Figur 2 eine Halbleiter-Schichtstruktur mit drei gestapelt übereinander angeordneten leuchtaktiven Schichten.

Figur 1 zeigt eine stark schematisierte und vereinfachte  
5 Schnittdarstellung einer ersten Halbleiter-Schichtstruktur  
100 eines ersten optoelektronischen Bauelements 10. Es sind  
nicht alle Schichten der ersten Halbleiter-Schichtstruktur  
100 dargestellt. Die Dicken der einzelnen Schichten der ers-  
ten Halbleiter-Schichtstruktur 100 sind der besseren Erkenn-  
10 barkeit halber außerdem nicht in maßstabsgetreuem Dickenver-  
hältnis dargestellt.

Das erste optoelektronische Bauelement 10 kann beispielsweise  
ein Leuchtdioden-Bauelement (LED) sein, das elektromagneti-  
15 sche Strahlung (Licht) im sichtbaren Spektralbereich emit-  
tiert. In diesem Fall kann die erste Halbleiter-  
Schichtstruktur 100 des ersten optoelektronischen Bauelements  
10 beispielsweise auf einem Gruppe-III-Nitrid-Materialsystem,  
beispielsweise einem InGaN-Materialsystem, oder einem Gruppe-  
20 III-Phosphid-Materialsystem, beispielsweise einem InGaAlP-  
Materialsystem, basieren.

Die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 kann durch epitakti-  
sches Wachstum erzeugt werden. Das Wachstum erfolgt dabei in  
25 eine Wachstumsrichtung 101. Die einzelnen Schichten der ers-  
ten Halbleiter-Schichtstruktur 100 sind senkrecht zur Wachs-  
tumsrichtung mit dem Bezugszeichen 101 orientiert.

Die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 weist ein Substrat  
30 120 auf. Das Substrat 120 ist optisch transparent. Das Sub-  
strat 120 kann beispielsweise Saphir, Zinkoxid oder Glas auf-  
weisen. Die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 kann während  
ihrer Herstellung direkt auf dem Substrat 120 aufgewachsen

worden sein. Die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 kann aber auch auf einem anderen Substrat aufgewachsen worden sein. In diesem Fall wurde das andere Substrat nach dem Wachstum der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 durch das Substrat 120 ersetzt.

In Wachstumsrichtung 101 oberhalb des Substrats 120 folgen eine erste n-dotierte Schicht 130, eine erste leuchtaktive Schicht 140 und eine erste p-dotierte Schicht 150 aufeinander, die gemeinsam eine erste Leuchtdiodenstruktur der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 bilden. Im Bereich der ersten leuchtaktiven Schicht 140 ist ein pn-Übergang ausgebildet. Wird der pn-Übergang der ersten leuchtaktiven Schicht 140 in Durchlassrichtung von Strom durchflossen, so wird in der ersten leuchtaktiven Schicht 140 elektromagnetische Strahlung, bevorzugt sichtbares Licht, emittiert. Die erste leuchtaktive Schicht 140 weist bevorzugt einen oder mehrere Quantenfilme auf.

Oberhalb der ersten p-dotierten Schicht 150, also der ersten p-dotierten Schicht 150 in Wachstumsrichtung 101 nachfolgend, ist ein erster Bragg-Spiegel 160 angeordnet. Der erste Bragg-Spiegel 160 kann auch als Bragg-Reflektor oder mit dem englischen Begriff distributed Bragg reflector (DBR) bezeichnet werden. Der erste Bragg-Spiegel 160 umfasst eine Mehrzahl erster Schichten 161 und zweiter Schichten 162, die in Wachstumsrichtung 101 jeweils abwechselnd aufeinander folgen. Alle ersten Schichten 161 des ersten Bragg-Spiegels 160 weisen ein erstes Material 163 auf. Alle zweiten Schichten 162 des ersten Bragg-Spiegels 160 weisen ein zweites Material 164 auf. Falls die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 aus einem InGaAlP-Materialsystem gebildet ist, kann das erste Material 163 beispielsweise InAlP aufweisen, während das zweite Mate-

rial 164 InGaAlP aufweist. Das erste Material 163 kann auch InGaAlP mit einem hohen Aluminiumanteil von beispielsweise 70 % bis 80 % aufweisen. Das erste Material 163 und das zweite Material 164 können auch durch AlGaAs mit Anteilen von Al zu Ga wie 50 zu 50 und 95 zu 5 gebildet werden. Falls die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 ein InGaN-Materialsystem aufweist, kann das erste Material 163 beispielsweise AlInN aufweisen, während das zweite Material 164 GaN aufweist. In jedem Fall weisen die ersten Schichten 161 des ersten Bragg-Spiegels 160 einen anderen Brechungsindex auf als die zweiten Schichten 162.

Elektromagnetische Strahlung kann in der ersten leuchtaktiven Schicht 140 in mehrere oder alle Raumrichtungen emittiert werden. Entgegen der Wachstumsrichtung 101 emittierte elektromagnetische Strahlung kann in das transparente Substrat 120 gelangen und dieses durch parallel zur Wachstumsrichtung 101 orientierte Seitenflächen 121 des Substrats 120 verlassen. Das Substrat 120 wirkt dadurch als Volumenemitter. An einer unteren, entgegen der Wachstumsrichtung 101 orientierten, Oberfläche 122 des Substrats 120 kann ein Rückseitenspiegel 110 angeordnet sein. Elektromagnetische Strahlung wird dann an der Oberfläche 122 des Substrats 120 durch den Rückseitenspiegel 110 zurück in das Substrat 120 reflektiert, um das Substrat 120 anschließend durch eine der Seitenflächen 121 zu verlassen. Der Rückseitenspiegel 110 kann beispielsweise als Metallisierung ausgebildet sein. An der Oberfläche 122 des Substrats 120 kann außerdem eine Auskoppelstruktur 123 vorgesehen sein. Im Bereich der Auskoppelstruktur 123 kann die Oberfläche 122 des Substrats 120 aufgeraut oder anderweitig strukturiert sein. Dadurch kann am Rückseitenspiegel 110 reflektierte elektromagnetische Strahlung in unterschiedliche Raumrichtungen gestreut werden, um eine Wahrscheinlichkeit zu

erhöhen, dass die reflektierte elektromagnetische Strahlung das Substrat 120 anschließend durch eine der Seitenflächen 121 verlässt. Die Auskoppelstruktur 123 kann aber auch entfallen.

5

Elektromagnetische Strahlung, die aus der ersten leuchtaktiven Schicht 140 in Richtung des ersten Bragg-Spiegels 160 emittiert wird, wird am ersten Bragg-Spiegel 160 reflektiert. Der erste Bragg-Spiegel 160 ist hierzu auf die Wellenlänge  
10 der durch die erste leuchtaktive Schicht 140 emittierten elektromagnetischen Strahlung abgestimmt. Am ersten Bragg-Spiegel 160 reflektierte elektromagnetische Strahlung kann die erste Halbleiter-Schichtstruktur nachfolgend wiederum durch die Seitenflächen 121 des Substrats 120 verlassen. Am  
15 ersten Bragg-Spiegel 160 reflektierte elektromagnetische Strahlung kann auch in der ersten leuchtaktiven Schicht 140 reabsorbiert werden, was als Photonenrecycling bezeichnet werden kann.

20

Die das erste Material 163 aufweisenden ersten Schichten 161 des ersten Bragg-Spiegels 160 weisen in Wachstumsrichtung 101 jeweils eine erste optische Dicke 165 auf. Die das zweite Material 164 aufweisenden zweiten Schichten 162 des ersten Bragg-Spiegels 160 weisen in Wachstumsrichtung 101 jeweils  
25 eine zweite optische Dicke 166 auf. Jedes benachbarte Paar aus einer das erste Material 163 aufweisenden ersten Schicht 161 und einer das zweite Material 164 aufweisenden zweiten Schicht 162 des ersten Bragg-Spiegels 160 weist in Wachstumsrichtung 101 gemeinsam eine optische Dicke auf, die mindestens  
30 etwa der Hälfte der Wellenlänge der durch die erste leuchtaktive Schicht 140 emittierten elektromagnetischen Strahlung entspricht. Eine optische Dicke eines Paares aus erster Schicht 161 und zweiter Schicht 162 von weniger als

der Hälfte der Wellenlänge der durch die erste leuchtaktive Schicht 140 emittierten elektromagnetischen Strahlung würde zu einem unwirksamen ersten Bragg-Spiegel 160 führen. Bevorzugt sind die erste optische Dicke 165 und die zweite optische Dicke 166 jeweils mindestens so groß wie ein Viertel der Wellenlänge der durch die erste leuchtaktive Schicht 140 emittierten elektromagnetischen Strahlung.

Bevorzugt wird der erste Bragg-Spiegel 160 so ausgebildet, dass auch nicht genau senkrecht auf den ersten Bragg-Spiegel 160 auftreffende elektromagnetische Strahlung mit hoher Reflektivität durch den ersten Bragg-Spiegel 160 reflektiert wird. Bevorzugt sollte der erste Bragg-Spiegel 160 alle Strahlung reflektieren, die unter einem Winkel auf den ersten Bragg-Spiegel 160 trifft, der kleiner als der Grenzwinkel der Totalreflexion ist. Dieser Grenzwinkel kann beispielsweise etwa  $70^\circ$  betragen.

Ein einzelnes Paar aus einer das erste Material 163 aufweisenden ersten Schicht 161 und einer das zweite Material 164 aufweisenden zweiten Schicht 162 des ersten Bragg-Spiegels 160 ist in der Lage, elektromagnetische Strahlung aus einem Wellenlängenintervall zu reflektieren, dessen Breite einer Winkelvariation der auf den ersten Bragg-Spiegel 160 treffenden Strahlung von beispielsweise  $10^\circ$  entspricht. Werden aufeinanderfolgende Paare von das erste Material 163 aufweisenden ersten Schichten 161 und das zweite Material 164 aufweisenden zweiten Schichten 162 des ersten Bragg-Spiegels 160 durch zunehmende optische Dicken 165, 166 jeweils auf benachbarte oder überlappende Wellenlängenintervalle mit zunehmender mittlerer Wellenlänge abgestimmt, so ist jedes dieser Schichtpaare in der Lage, Strahlung zu reflektieren, die unter einem Winkel aus einem jeweils festgelegten Winkelbereich

auf den ersten Bragg-Spiegel 160 trifft. Diese durch die einzelnen Schichtpaare abgedeckten Winkelbereiche können sich zum gewünschten gesamten Abdeckungswinkel von beispielsweise +/- 70° addieren.

5

Der erste Bragg-Spiegel 160 weist, wie die erste p-dotierte Schicht 150, eine p-Dotierung auf. In Wachstumsrichtung 101 oberhalb des ersten Bragg-Spiegels 160 weist die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 einen zweiten Bragg-Spiegel 260 auf. Der zweite Bragg-Spiegel 260 weist eine n-Dotierung auf. Zwischen dem ersten Bragg-Spiegel 160 und dem zweiten Bragg-Spiegel 260 ist ein erster Tunnelübergang 200 angeordnet. Im Bereich des ersten Tunnelübergangs 200 treffen eine p-Dotierung und eine n-Dotierung aufeinander, wodurch sich ein pn-Übergang mit gegenüber dem pn-Übergang der ersten leuchtaktiven Schicht 140 umgekehrter Polarität und somit eine Tunnelbarriere ergibt.

Der erste Tunnelübergang 200 weist bevorzugt eine kleine Bandlücke und eine hohe Ladungsträgerdichte auf. Eine kleine Bandlücke des ersten Tunnelübergangs 200 kann bei Verwendung des AlInGaN-Materialsystems beispielsweise durch einen Indium-Anteil des ersten Tunnelübergangs 200 von über 35 % erreicht werden. Eine hohe Ladungsträgerdichte des ersten Tunnelübergangs 200 kann durch eine hohe Dotierung im Bereich des ersten Tunnelübergangs 200 erreicht werden. Bevorzugt umfasst der erste Tunnelübergang 200 in Wachstumsrichtung 101 aufeinanderfolgend einen p+-dotierten Bereich 201 und einen n+-dotierten Bereich 203 auf. Der p+-dotierte Bereich 201 grenzt dabei an den ersten Bragg-Spiegel 160 an. Der n+-dotierte Bereich 203 grenzt an den zweiten Bragg-Spiegel 260 an. Der p+-dotierte Bereich 201 ist bevorzugt stärker p-dotiert als der erste Bragg-Spiegel 160 und die erste p-

dotierte Schicht 150. Bevorzugt weist der p+-dotierte Bereich 201 eine Dotierung mit einem Dotiergrad von mindestens  $10^{20}$  pro Kubikzentimeter auf. Der n+-dotierte Bereich 203 ist stärker n-dotiert als der zweite Bragg-Spiegel 260. Bevorzugt weist der n+-dotierte Bereich 203 eine n-Dotierung mit einem Dotiergrad von mindestens  $10^{20}$  pro Kubikzentimeter auf.

Zwischen dem p+-dotierten Bereich 201 des ersten Tunnelübergangs 200 und dem n+-dotierten Bereich 203 des ersten Tunnelübergangs 200 kann zusätzlich eine Abstandsschicht 202 angeordnet sein, die nominell undotiert ist. Die Abstandsschicht 202 dient dazu, eine Diffusion des p-Dotierstoffes des p+-dotierten Bereichs 201 in den n+-dotierten Bereich 203 zu verhindern. Durch Diffusion des p-Dotierstoffes kann die Abstandsschicht 202 eine gewisse p-Dotierung aufweisen.

Ist der erste Tunnelübergang 200, wie beschrieben, mit kleiner Bandlücke und hoher Ladungsträgerdichte ausgebildet, so weist der erste Tunnelübergang 200 günstige elektrische Eigenschaften auf. Im Betrieb des ersten optoelektronischen Bauelements 10 ergibt sich über den ersten Tunnelübergang 200 nur ein geringer Spannungsabfall und dadurch nur eine geringe Erhöhung der zum Betrieb des ersten optoelektronischen Bauelements 10 erforderlichen Betriebsspannung.

Eine hohe Indium-Konzentration und eine hohe Ladungsträgerdichte im Bereich des ersten Tunnelübergangs 200 bewirkt allerdings auch, dass in den ersten Tunnelübergang 200 vordringende elektromagnetische Strahlung im Bereich des ersten Tunnelübergangs 200 wirksam absorbiert wird. Um solche Absorptionsverluste im ersten Tunnelübergang 200 zu vermeiden, wird der erste Tunnelübergang 200 durch den ersten Bragg-Spiegel

160 optisch von der ersten leuchtaktiven Schicht 140 abge-  
schirmt. Durch die erste leuchtaktive Schicht 140 emittierte  
elektromagnetische Strahlung wird am ersten Bragg-Spiegel 160  
reflektiert und kann den ersten Tunnelübergang 200 dadurch  
5 nicht erreichen.

In Wachstumsrichtung 101 oberhalb des zweiten Bragg-Spiegels  
260 umfasst die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 eine  
zweite n-dotierte Schicht 250, eine zweite leuchtaktive  
10 Schicht 240 und eine zweite p-dotierte Schicht 230. Die zwei-  
te n-dotierte Schicht 250 grenzt dabei an den zweiten Bragg-  
Spiegel 260 an. Gemeinsam bilden die zweite n-dotierte  
Schicht 250, die zweite leuchtaktive Schicht 240 und die  
zweite p-dotierte Schicht 230 eine zweite Leuchtdiodenstruk-  
15 tur der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100.

Die zweite leuchtaktive Schicht 240 ist dazu vorgesehen, im  
Betrieb des ersten optoelektronischen Bauelements 10 elektro-  
magnetische Strahlung, bevorzugt sichtbares Licht, zu emit-  
20 tieren. Die Wellenlänge der durch die zweite leuchtaktive  
Schicht 240 emittierten elektromagnetischen Strahlung kann  
der Wellenlänge der durch die erste leuchtaktive Schicht 140  
emittierten elektromagnetischen Strahlung entsprechen, oder  
eine andere Wellenlänge sein. Falls die leuchtaktiven Schich-  
25 ten 140, 240 elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher  
Wellenlängen emittieren, bildet das erste optoelektronische  
Bauelement 10 mit der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100  
einen monolithischen Mischlicht-Emitter.

30 Elektromagnetische Strahlung, die aus der zweiten leuchtakti-  
ven Schicht 240 in Wachstumsrichtung 101 emittiert wird, kann  
die erste Halbleiter-Schichtstruktur 100 durch eine in Wachs-  
tumsrichtung 101 weisende Oberfläche 102 der ersten Halblei-

ter-Schichtstruktur 100 verlassen. Die Oberfläche 102 kann beispielsweise durch eine Oberfläche der zweiten p-dotierten Schicht 230 oder eine Oberfläche einer in Wachstumsrichtung 101 der zweiten p-dotierten Schicht 230 noch nachfolgenden Schicht der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 gebildet sein. Die die zweite leuchtaktive Schicht 240 umfassende zweite Leuchtdiodenstruktur der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 wirkt dadurch als Oberflächenemitter. An der Oberfläche 102 kann zusätzlich eine Auskoppelstruktur 103 in Form einer Aufrauung oder einer anderen Strukturierung vorgesehen sein, um eine Totalreflexion an der Oberfläche 102 zu vermeiden und dadurch eine Auskopplung der elektromagnetischen Strahlung durch die Oberfläche 102 zu unterstützen.

Elektromagnetische Strahlung, die aus der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 in Richtung des zweiten Bragg-Spiegels 260 emittiert wird, wird durch den zweiten Bragg-Spiegel 260 in Richtung der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 reflektiert. Der zweite Bragg-Spiegel 260 weist hierzu eine Mehrzahl erster Schichten 261 und zweiter Schichten 262 auf, die abwechselnd zueinander angeordnet sind. Die ersten Schichten 261 und die zweiten Schichten 262 des zweiten Bragg-Spiegels 260 können wie die Schichten 161, 162 des ersten Bragg-Spiegels 160 ausgebildet sein. Die optischen Dicken der Schichten 261, 262 des zweiten Bragg-Spiegels 260 sind allerdings derart bemessen, dass der zweite Bragg-Spiegel 260 an die Wellenlänge der durch die zweite leuchtaktive Schicht 240 emittierten elektromagnetischen Strahlung angepasst ist. Aus der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 in Richtung des zweiten Bragg-Spiegels 260 emittierte Strahlung, wird durch den zweiten Bragg-Spiegel 260 zurück zur zweiten leuchtaktiven Schicht 240 reflektiert, um dort reabsorbiert zu werden oder nachfolgend durch die Oberfläche 102 der ersten Halbleiter-

Schichtstruktur 100 auszutreten. Hierdurch wird eine Absorption der durch die zweite leuchtaktive Schicht 240 emittierten Strahlung im ersten Tunnelübergang 200 verhindert.

5 Figur 2 zeigt in schematischer Schnittdarstellung eine zweite Halbleiter-Schichtstruktur 1100 eines zweiten optoelektronischen Bauelements 1010 gemäß einer zweiten Ausführungsform. Auch das zweite optoelektronische Bauelement 1010 kann beispielsweise ein Leuchtdioden-Bauelement zur Emission elektro-  
10 magnetischer Strahlung in einem sichtbaren Wellenlängenbereich sein. Die zweite Halbleiter-Schichtstruktur 1100 ist in Figur 2 nicht maßstabsgetreu dargestellt.

Die zweite Halbleiter-Schichtstruktur 1100 weist Übereinstimmungen mit der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 des ersten optoelektronischen Bauelements 10 auf. Auch bei der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 vorhandene Schichten der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 sind in Figur 2 mit denselben Bezugszeichen versehen wie in Figur 1. Die zweite  
20 Halbleiter-Schichtstruktur 1100 weist in eine Wachstumsrichtung 1101 der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 aufeinanderfolgend ein Substrat 120, eine erste n-dotierte Schicht 130, eine erste leuchtaktive Schicht 140, eine erste p-dotierte Schicht 150, einen ersten Bragg-Spiegel 160, einen  
25 ersten Tunnelübergang 200, einen zweiten Bragg-Spiegel 260, eine zweite n-dotierte Schicht 250, eine zweite leuchtaktive Schicht 240 und eine zweite p-dotierte Schicht 230 auf. Eine entgegen der Wachstumsrichtung 1101 orientierte Oberfläche 122 des Substrats 120 weist einen Rückseitenspiegel 110 auf.  
30 Aufbau und Funktion der genannten Schichten entsprechen denen der korrespondierenden Schichten der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 des ersten optoelektronischen Bauelements 10 der Figur 1.

Bei der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 des zweiten optoelektronischen Bauelements 1010 folgt auf die zweite p-dotierte Schicht 230 in Wachstumsrichtung 1101 ein dritter Bragg-Spiegel 310. Der dritte Bragg-Spiegel 310 grenzt an die  
5 zweite p-dotierte Schicht 230 an und ist, wie diese, p-dotiert. Der dritte Bragg-Spiegel 310 weist eine Mehrzahl erster Schichten 311 und zweiter Schichten 312 auf, die jeweils abwechselnd aufeinander folgen. Die ersten Schichten 311 und die zweiten Schichten 312 des dritten Bragg-Spiegels  
10 310 können wie die ersten Schichten 261 und die zweiten Schichten 262 des zweiten Bragg-Spiegels 260 ausgebildet sein. Der dritte Bragg-Spiegel 310 ist dazu vorgesehen, elektromagnetische Strahlung, die aus der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 in Wachstumsrichtung 1101 in Richtung des  
15 dritten Bragg-Spiegels 310 emittiert wird, zurück in Richtung der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 zu reflektieren.

In der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 erzeugte elektromagnetische Strahlung kann die zweite Halbleiter-Schichtstruktur  
20 1100 dadurch nur noch über parallel zur Wachstumsrichtung 1101 orientierte Seitenflächen 241 der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 und ggf. auch über parallel zur Wachstumsrichtung 1101 orientierte Seitenflächen der zweiten n-dotierten Schicht 250 und der zweiten p-dotierten Schicht 230 verlassen.  
25 Die die zweite leuchtaktive Schicht 240 umfassende zweite Leuchtdiodenstruktur der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 wirkt dadurch als Kantenemitter.

In Wachstumsrichtung 1101 oberhalb des dritten Bragg-Spiegels  
30 310 ist ein vierter Bragg-Spiegel 320 angeordnet. Der vierte Bragg-Spiegel 320 weist eine n-Dotierung auf. Zwischen dem p-dotierten dritten Bragg-Spiegel 310 und dem n-dotierten vierten Bragg-Spiegel 320 ist ein zweiter Tunnelübergang 300 aus-

gebildet. Der zweite Tunnelübergang 300 entspricht in Aufbau und Funktionsweise dem ersten Tunnelübergang 200. So weist auch der zweite Tunnelübergang 300 in Wachstumsrichtung 1101 bevorzugt einen p+-dotierten Bereich 301, eine Abstandsschicht 302 und einen n+-dotierten Bereich 303 auf. Der p+-dotierte Bereich 301 grenzt an den dritten Bragg-Spiegel 310 an und ist p-dotiert mit einem höheren Dotiergrad als der dritte Bragg-Spiegel 310. Der n+-dotierte Bereich 303 grenzt an den vierten Bragg-Spiegel 320 an und weist eine n-Dotierung mit einem höheren Dotiergrad als der vierte Bragg-Spiegel 320 auf. Die Abstandsschicht 302 ist nominell undotiert.

In Wachstumsrichtung 1101 oberhalb des vierten Bragg-Spiegels 320 folgen eine dritte n-dotierte Schicht 330, eine dritte leuchtaktive Schicht 340 und eine dritte p-dotierte Schicht 350 aufeinander, die eine dritte Leuchtdiodenstruktur der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 bilden. Die dritte n-dotierte Schicht 330 grenzt an den vierten Bragg-Spiegel 320 an. Im Betrieb des zweiten optoelektronischen Bauelements 1010 emittiert die dritte leuchtaktive Schicht 340, elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge, die bevorzugt im sichtbaren Spektralbereich liegt. Die Wellenlänge der in der dritten leuchtaktiven Schicht 340 erzeugten elektromagnetischen Strahlung kann der Wellenlänge der in der ersten leuchtaktiven Schicht 140 und/oder der Wellenlänge der in der zweiten leuchtaktiven Schicht 240 erzeugten elektromagnetischen Strahlung entsprechen, sich von diesen Wellenlängen aber auch unterscheiden.

30

Elektromagnetische Strahlung, die aus der dritten leuchtaktiven Schicht 340 entgegen der Wachstumsrichtung 1101 in Richtung des vierten Bragg-Spiegels 320 abgestrahlt wird, wird

durch den vierten Bragg-Spiegel 320 reflektiert, um eine Absorption der in der dritten leuchtaktiven Schicht 340 erzeugten elektromagnetischen Strahlung im zweiten Tunnelübergang 300 zu verhindern. Der vierte Bragg-Spiegel 320 weist hierzu  
5 eine Mehrzahl erster Schichten 321 und zweiter Schichten 322 auf, deren optische Dicke auf die Wellenlänge der in der dritten leuchtaktiven Schicht 340 erzeugten elektromagnetischen Strahlung abgestimmt sind. Im Übrigen entspricht der Aufbau des vierten Bragg-Spiegels 320 dem der anderen Bragg-  
10 Spiegel 160, 260, 310.

Elektromagnetische Strahlung, die die dritte leuchtaktive Schicht 340 in Wachstumsrichtung 1101 verlässt, und elektromagnetische Strahlung, die am vierten Bragg-Spiegel 320 in  
15 Wachstumsrichtung 1101 reflektiert wird, kann die zweite Halbleiter-Schichtstruktur 1100 an einer in Wachstumsrichtung 1101 orientierten Oberfläche 1102 verlassen. Die Oberfläche 1102 der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 kann durch eine Oberfläche der dritten p-dotierten Schicht 350 oder eine  
20 Oberfläche einer der dritten p-dotierten Schicht 350 in Wachstumsrichtung 1101 noch nachfolgenden Schicht der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 gebildet sein. Die Oberfläche 1102 der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 kann mit einer Auskoppelstruktur 1103 in Form einer Aufrauung oder einer  
25 anderen Strukturierung versehen sein, um eine Totalreflexion an der Oberfläche 1102 zu vermeiden und eine Auskopplung elektromagnetischer Strahlung durch die Oberfläche 1102 zu erleichtern.

30 Das anhand der Figuren 1 und 2 erläuterte Aufbauprinzip lässt sich selbstverständlich zu optoelektronischen Bauelementen mit Halbleiter-Schichtstrukturen erweitern, die mehr als drei leuchtaktive Schichten aufweisen. Dabei ist zwischen in

Wachstumsrichtung aufeinander folgenden leuchtaktiven Schichten stets ein Tunnelübergang ausgebildet, der durch beidseitig angeordnete Bragg-Spiegel von den leuchtaktiven Schichten abgeschirmt wird, um eine Absorption elektromagnetischer  
5 Strahlung im Tunnelübergang zu verhindern.

Die beispielhaft erläuterten Dotierungen der ersten Halbleiter-Schichtstruktur 100 und der zweiten Halbleiter-Schichtstruktur 1100 können auch mit umgekehrter Polarität  
10 ausgebildet werden. Dabei wird jede p-Dotierung durch eine n-Dotierung und jede n-Dotierung durch eine p-Dotierung ersetzt. So ist statt der ersten n-dotierten Schicht 130 dann beispielsweise eine p-dotierte Schicht und statt der ersten p-dotierten Schicht 150 eine n-dotierte Schicht vorhanden.

15

Die Erfindung wurde anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben. Dennoch ist die Erfindung nicht auf die offenbarten Beispiele eingeschränkt. Vielmehr können hieraus andere Variationen vom Fachmann abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlas-  
20 sen.

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 102013104954.0, deren Offenbarungsgehalt  
25 hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

## Bezugszeichenliste

	10	erstes optoelektronisches Bauelement
5	100	erste Halbleiter-Schichtstruktur
	101	Wachstumsrichtung
	102	Oberfläche
	103	Auskoppelstruktur
10	110	Rückseitenspiegel
	120	Substrat
	121	Seitenfläche
	122	Oberfläche
15	123	Auskoppelstruktur
	130	erste n-dotierte Schicht
	140	erste leuchtaktive Schicht
20	150	erste p-dotierte Schicht
	160	erster Bragg-Spiegel
	161	erste Schicht
25	162	zweite Schicht
	163	erstes Material
	164	zweites Material
	165	erste optische Dicke
	166	zweite optische Dicke
30	200	erster Tunnelübergang
	201	p+-dotierter Bereich
	202	Abstandsschicht

	203	n+-dotierter Bereich
	230	zweite p-dotierte Schicht
5	240	zweite leuchtaktive Schicht
	241	Seitenfläche
	250	zweite n-dotierte Schicht
10	260	zweiter Bragg-Spiegel
	261	erste Schicht
	262	zweite Schicht
	300	zweiter Tunnelübergang
15	301	p+-dotierter Bereich
	302	Abstandsschicht
	303	n+-dotierter Bereich
	310	dritter Bragg-Spiegel
20	311	erste Schicht
	312	zweite Schicht
	320	vierter Bragg-Spiegel
	321	erste Schicht
25	322	zweite Schicht
	330	dritte n-dotierte Schicht
	340	dritte leuchtaktive Schicht
30	350	dritte p-dotierte Schicht
	1010	zweites optoelektronisches Bauelement

1100 zweite Halbleiter-Schichtstruktur

1101 Wachstumsrichtung

1102 Oberfläche

1103 Auskoppelstruktur

## Patentansprüche

1. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010)  
mit einer Halbleiter-Schichtstruktur (100, 1100), die ei-  
5 ne erste leuchtaktive Schicht (140) und eine zweite  
leuchtaktive Schicht (240) aufweist,  
wobei zwischen der ersten leuchtaktiven Schicht (140) und  
der zweiten leuchtaktiven Schicht (240) ein erster Tun-  
nelübergang (200) ausgebildet ist,  
10 wobei zwischen der ersten leuchtaktiven Schicht (140) und  
dem ersten Tunnelübergang (200) ein erster Bragg-Spiegel  
(160) ausgebildet ist,  
wobei zwischen der zweiten leuchtaktiven Schicht (240)  
und dem ersten Tunnelübergang (200) ein zweiter Bragg-  
15 Spiegel (260) ausgebildet ist.
2. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß Anspruch  
1,  
wobei der erste Bragg-Spiegel (160) ausgebildet ist,  
20 elektromagnetische Strahlung zu reflektieren, die aus der  
ersten leuchtaktiven Schicht (140) auf den ersten Bragg-  
Spiegel (160) trifft.
3. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß Anspruch  
25 2,  
wobei die erste leuchtaktive Schicht (140) ausgebildet  
ist, elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge  
aus einem ersten Wellenlängenintervall zu emittieren,  
wobei der erste Bragg-Spiegel (160) ausgebildet ist,  
30 elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge aus  
dem ersten Wellenlängenintervall zu reflektieren.

4. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß Anspruch 3,  
wobei der erste Bragg-Spiegel (160) eine Mehrzahl einander abwechselnder erster Schichten (161), die ein erstes  
5 Material (163) aufweisen, und zweiter Schichten (162),  
die ein zweites Material (164) aufweisen, umfasst.
5. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß Anspruch 4,  
10 wobei jedes Paar aus einer ersten Schicht (161) und einer benachbarten zweiten Schicht (162) zusammen eine optische Dicke (165, 166) aufweist, die mindestens so groß wie die Hälfte einer Wellenlänge von durch die erste leuchtaktive Schicht (140) emittierter elektromagnetischer Strahlung  
15 ist.
6. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der Ansprüche 4 und 5,  
wobei das erste Material (163) und das zweite Material  
20 (164) unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.
7. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6,  
wobei das erste Material (163) und das zweite Material  
25 (164) Gruppe-III-Phosphide sind.
8. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der Ansprüche 4 bis 6,  
wobei das erste Material (163) und das zweite Material  
30 (164) Gruppe-III-Nitride sind.
9. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,

wobei der erste Bragg-Spiegel (160) n-dotiert und der zweite Bragg-Spiegel (260) p-dotiert ist, oder der erste Bragg-Spiegel (160) p-dotiert und der zweite Bragg-Spiegel (260) n-dotiert ist.

5

10. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Bragg-Spiegel (260) ausgebildet ist, elektromagnetische Strahlung zu reflektieren, die aus der zweiten leuchtaktiven Schicht (240) auf den zweiten Bragg-Spiegel (260) trifft.

10

11. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Tunnelübergang (200) einen p-dotierten Bereich (201) mit einem Dotiergrad von mindestens  $10^{20}$  pro Kubikzentimeter und einen n-dotierten Bereich (203) mit einem Dotiergrad von mindestens  $10^{20}$  pro Kubikzentimeter umfasst.

15

20

12. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß Anspruch 11, wobei zwischen dem p-dotierten Bereich (201) des ersten Tunnelübergangs (200) und dem n-dotierten Bereich (203) des ersten Tunnelübergangs (200) eine Abstandsschicht (202) angeordnet ist, wobei die Abstandsschicht (202) einen geringeren Dotiergrad aufweist als der p-dotierte Bereich (201) des ersten Tunnelübergangs (200) und bevorzugt undotiert ist.

25

30

13. Optoelektronisches Bauelement (10, 1010) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche,

wobei die erste leuchtaktive Schicht (140) als Quantenfilmstruktur ausgebildet ist.

14. Optoelektronisches Bauelement (1010) gemäß einem der vor-  
5 hergehenden Ansprüche,

wobei die Halbleiter-Schichtstruktur (1100) eine dritte leuchtaktive Schicht (340) aufweist,

wobei zwischen der zweiten leuchtaktiven Schicht (240) und der dritten leuchtaktiven Schicht (340) ein zweiter  
10 Tunnelübergang (300) angeordnet ist,

wobei zwischen der zweiten leuchtaktiven Schicht (240) und dem zweiten Tunnelübergang (300) ein dritter Bragg-Spiegel (310) ausgebildet ist,

wobei zwischen der dritten leuchtaktiven Schicht (340) und dem zweiten Tunnelübergang (300) ein vierter Bragg-Spiegel (320) ausgebildet ist.  
15

15. Verfahren zur Herstellung eines optoelektronischen Bauelements (10, 1010)

20 mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen eines Substrats;
- Aufwachsen einer ersten leuchtaktiven Schicht (140);
- Aufwachsen eines ersten Bragg-Spiegels (160);
- Aufwachsen eines zweiten Bragg-Spiegels (260);
- 25 - Aufwachsen einer zweiten leuchtaktiven Schicht (240).

16. Verfahren gemäß Anspruch 15,

wobei das Verfahren die folgenden weiteren Schritte umfasst:

- 30 - Aufwachsen eines dritten Bragg-Spiegels (310);
- Aufwachsen eines vierten Bragg-Spiegels (320);
- Aufwachsen einer dritten leuchtaktiven Schicht (340).

1/2

FIG 1

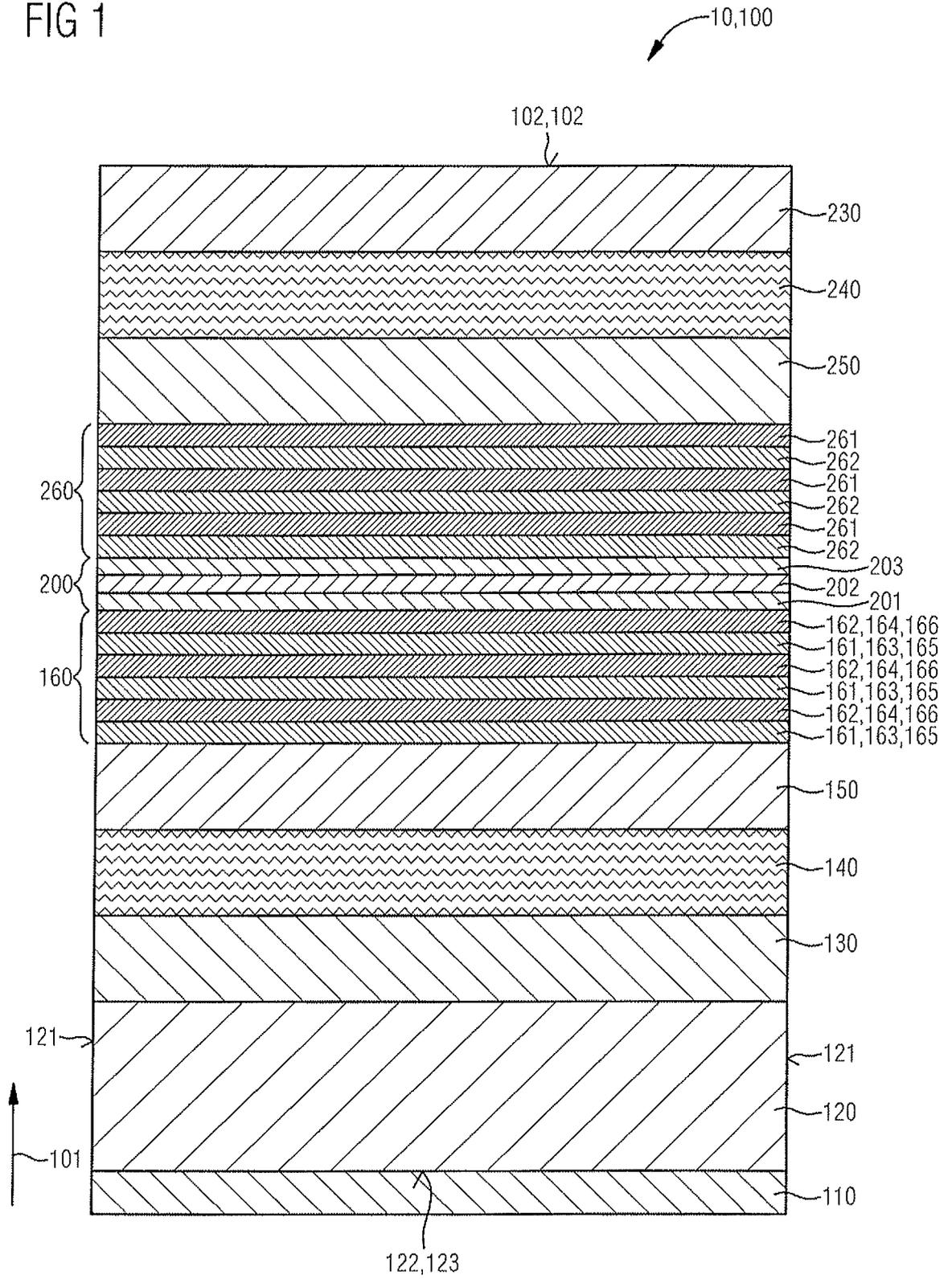
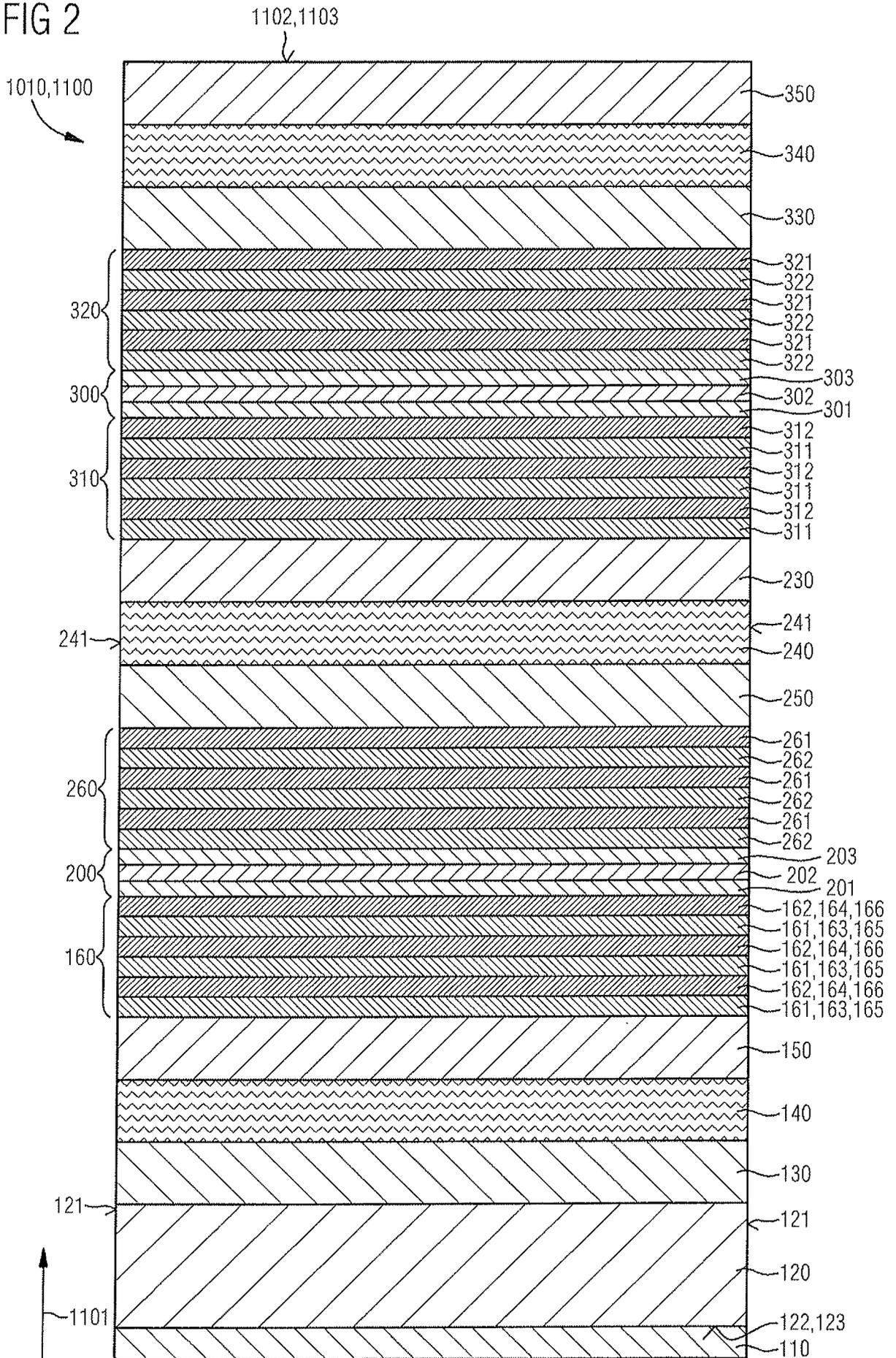


FIG 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/059643

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01L33/04 H01L33/08 H01L33/10  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H01L H01S  
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JAIN F ET AL: "MONOLITHIC INTEGRATION OF RED, BLUE AND GREEN LASERS FOR SMART PROJECTION DISPLAYS", 1995 SID INTERNATIONAL SYMPOSIUM DIGEST OF TECHNICAL PAPERS. ORLANDO, MAY 23 - 25, 1995; [SID INTERNATIONAL SYMPOSIUM DIGEST OF TECHNICAL PAPERS], SANTA ANA, SID, US, vol. VOL. 26, 23 May 1995 (1995-05-23), pages 516-519, XP000657166, page 518, left-hand column, paragraph 1 - right-hand column, paragraph 1 figure 5  -----  -/--	1-6,9, 10,13-16

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

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

Date of the actual completion of the international search  5 September 2014	Date of mailing of the international search report  19/09/2014
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Sauerer, Christof
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2014/059643

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 793 462 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 6 June 2007 (2007-06-06)	1-11,13, 15
Y	column 9, line 28 - column 10, line 5 column 14, line 37 - line 44 column 17, line 47 - column 19, line 35 figure 4	12
X	EP 1 950 854 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 30 July 2008 (2008-07-30)	1-11,13, 15
Y	column 14, line 30 - column 22, line 8 figures 2, 3	12
Y	DE 10 2007 035687 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 5 February 2009 (2009-02-05) page 7/12, paragraph [0050] - paragraph [0054] figure 2	12
X	US 6 535 541 B1 (BOUCART JULIEN [US] ET AL) 18 March 2003 (2003-03-18) figures 4, 5, 15 column 7, line 5 - column 9, line 7	1-10,13, 15,16
X	US 2005/067627 A1 (SHEN GUANGDI [CN] ET AL) 31 March 2005 (2005-03-31) figures 1, 7 page 1, paragraph [0006] - page 3, paragraph [0040]	1-6,8, 13,15
A	DE 199 52 932 C1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 3 May 2001 (2001-05-03) the whole document	1-16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/059643

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 1793462	A1	06-06-2007	DE 102006010728 A1	06-06-2007
			EP 1793462 A1	06-06-2007
			JP 5199568 B2	15-05-2013
			JP 2007158347 A	21-06-2007
			US 2007153867 A1	05-07-2007
-----				
EP 1950854	A1	30-07-2008	DE 102007011804 A1	31-07-2008
			EP 1950854 A1	30-07-2008
			JP 5322444 B2	23-10-2013
			JP 2008180719 A	07-08-2008
			US 2008197289 A1	21-08-2008
-----				
DE 102007035687	A1	05-02-2009	DE 102007035687 A1	05-02-2009
			TW 200915621 A	01-04-2009
			WO 2009015645 A2	05-02-2009
-----				
US 6535541	B1	18-03-2003	NONE	
-----				
US 2005067627	A1	31-03-2005	CN 1490888 A	21-04-2004
			US 2005067627 A1	31-03-2005
-----				
DE 19952932	C1	03-05-2001	DE 19952932 C1	03-05-2001
			JP 4681184 B2	11-05-2011
			JP 2003513474 A	08-04-2003
			TW 476166 B	11-02-2002
			US 2002167014 A1	14-11-2002
			WO 0133640 A1	10-05-2001
-----				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L33/04 H01L33/08 H01L33/10 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L H01S		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JAIN F ET AL: "MONOLITHIC INTEGRATION OF RED, BLUE AND GREEN LASERS FOR SMART PROJECTION DISPLAYS", 1995 SID INTERNATIONAL SYMPOSIUM DIGEST OF TECHNICAL PAPERS. ORLANDO, MAY 23 - 25, 1995; [SID INTERNATIONAL SYMPOSIUM DIGEST OF TECHNICAL PAPERS], SANTA ANA, SID, US, Bd. VOL. 26, 23. Mai 1995 (1995-05-23), Seiten 516-519, XP000657166, Seite 518, linke Spalte, Absatz 1 - rechte Spalte, Absatz 1 Abbildung 5  -----  -/--	1-6,9, 10,13-16
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts	
5. September 2014	19/09/2014	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Sauerer, Christof	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 793 462 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 6. Juni 2007 (2007-06-06)	1-11,13, 15
Y	Spalte 9, Zeile 28 - Spalte 10, Zeile 5 Spalte 14, Zeile 37 - Zeile 44 Spalte 17, Zeile 47 - Spalte 19, Zeile 35 Abbildung 4	12
	-----	
X	EP 1 950 854 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 30. Juli 2008 (2008-07-30)	1-11,13, 15
Y	Spalte 14, Zeile 30 - Spalte 22, Zeile 8 Abbildungen 2, 3	12
	-----	
Y	DE 10 2007 035687 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 5. Februar 2009 (2009-02-05) Seite 7/12, Absatz [0050] - Absatz [0054] Abbildung 2	12
	-----	
X	US 6 535 541 B1 (BOUCART JULIEN [US] ET AL) 18. März 2003 (2003-03-18) Abbildungen 4, 5, 15 Spalte 7, Zeile 5 - Spalte 9, Zeile 7	1-10,13, 15,16
	-----	
X	US 2005/067627 A1 (SHEN GUANGDI [CN] ET AL) 31. März 2005 (2005-03-31) Abbildungen 1, 7 Seite 1, Absatz [0006] - Seite 3, Absatz [0040]	1-6,8, 13,15
	-----	
A	DE 199 52 932 C1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]) 3. Mai 2001 (2001-05-03) das ganze Dokument	1-16
	-----	

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2014/059643

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 1793462	A1	06-06-2007	DE 102006010728 A1	06-06-2007
			EP 1793462 A1	06-06-2007
			JP 5199568 B2	15-05-2013
			JP 2007158347 A	21-06-2007
			US 2007153867 A1	05-07-2007
-----				
EP 1950854	A1	30-07-2008	DE 102007011804 A1	31-07-2008
			EP 1950854 A1	30-07-2008
			JP 5322444 B2	23-10-2013
			JP 2008180719 A	07-08-2008
			US 2008197289 A1	21-08-2008
-----				
DE 102007035687	A1	05-02-2009	DE 102007035687 A1	05-02-2009
			TW 200915621 A	01-04-2009
			WO 2009015645 A2	05-02-2009
-----				
US 6535541	B1	18-03-2003	KEINE	
-----				
US 2005067627	A1	31-03-2005	CN 1490888 A	21-04-2004
			US 2005067627 A1	31-03-2005
-----				
DE 19952932	C1	03-05-2001	DE 19952932 C1	03-05-2001
			JP 4681184 B2	11-05-2011
			JP 2003513474 A	08-04-2003
			TW 476166 B	11-02-2002
			US 2002167014 A1	14-11-2002
			WO 0133640 A1	10-05-2001
-----				