



21 Aktenzeichen: 196 38 667.5  
22 Anmeldetag: 20. 9. 96  
43 Offenlegungstag: 2. 4. 98

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

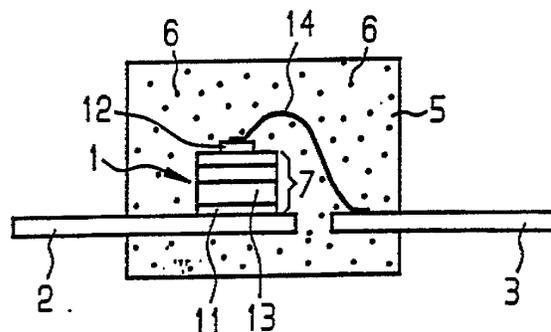
72 Erfinder:  
Schlotter, Peter, Dr., 79112 Freiburg, DE; Schmidt,  
Rolf, 79279 Vörstetten, DE; Schneider, Jürgen, Dr.,  
79199 Kirchzarten, DE

56 Entgegenhaltungen:  
DE 33 15 675 C2  
DE 38 04 293 A1  
DE-OS 20 59 909  
Abstract zu JP 07 176 794 A;  
»Appl.Phys.Lett.« 69 (12. Aug. 1996) 898-900;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement mit Lumineszenzkonversionselement

57 Mischfarbiges Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement mit einem Strahlung aussendenden Halbleiterkörper (1) und einem Lumineszenzkonversionselement (4, 5). Der Halbleiterkörper (1) sendet Strahlung mit einer Wellenlänge  $\lambda \leq 520$  nm und das Lumineszenzkonversionselement (4, 5) wandelt einen Teil dieser Strahlung in Strahlung mit einer größeren Wellenlänge um. Dadurch lassen sich Leuchtdioden herstellen, die mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht abstrahlen. Das Lumineszenzkonversionselement (4, 5) weist einen anorganischen Leuchtstoff (6) auf.



Die Erfindung bezieht sich auf ein mischfarbiges, insbesondere weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement.

In vielen potentiellen Anwendungsgebieten für Leuchtdioden, wie zum Beispiel bei Anzeigeelementen im Kfz-Armaturrenbrett, Beleuchtung in Flugzeugen und Autos und bei vollfarbtauglichen LED-Displays, tritt verstärkt die Forderung nach Leuchtdiodenanordnungen auf, mit denen sich mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht erzeugen läßt. Bisher läßt sich weißes "LED"-Licht nur mit sogenannten Multi-LEDs erzeugen, bei denen drei verschiedenfarbige Leuchtdioden (i. a. eine rote, eine grüne und eine blaue) oder zwei komplementärfarbige Leuchtdioden (z. B. eine blaue und eine gelbe) verwendet werden. Neben einem erhöhten Montageaufwand sind für solche Multi-LEDs auch aufwendige Ansteuerlektroniken erforderlich, da die verschiedenen Diodentypen unterschiedliche Ansteuer- spannungen benötigen. Außerdem wird die Langzeitstabilität hinsichtlich Wellenlänge und Intensität durch unterschiedliche Alterungserscheinungen der verschiedenen Leuchtdioden und auch aufgrund der unterschiedlichen Ansteuerspannungen und den daraus resultierenden unterschiedlichen Betriebsströmen beeinträchtigt. Ein zusätzlicher Nachteil der Multi-LEDs besteht darin, daß die Bauteilminiaturisierung stark begrenzt ist.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art zu entwickeln, mit dem auf technisch einfache Weise, mit einem möglichst geringen Bauteileaufwand, mischfarbiges Licht, insbesondere weißes Licht erzeugt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch ein Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 30. Die Unteransprüche 31 bis 34 geben bevorzugte Verwendungsmöglichkeiten des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements an.

Erfindungsgemäß ist ein Strahlung aussendender Halbleiterkörper, mit mindestens einem ersten und mindestens einem zweiten mit dem Halbleiterkörper elektrisch leitend verbundenen elektrischen Anschluß vorgesehen, dem ein Lumineszenzkonversionselement zugeordnet ist. Der Halbleiterkörper weist eine Schichtenfolge auf, die eine elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen  $\lambda \leq 520$  nm aussendet. Sie weist insbesondere eine Schichtenfolge mit einer aktiven Schicht aus  $Ga_xIn_{1-x}N$  oder  $Ga_xAl_{1-x}N$  auf. Das Lumineszenzkonversionselement wandelt Strahlung eines ersten spektralen Teilbereiches der von dem Halbleiterkörper ausgesandten, aus einem ersten Wellenlängenbereich stammenden Strahlung in Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereiches um, derart, daß das Halbleiterbauelement Strahlung aus mindestens einem zweiten spektralen Teilbereich des ersten Wellenlängenbereiches und Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches aussendet. Das Lumineszenzkonversionselement ist dazu mit mindestens einem anorganischen Leuchtstoff, insbesondere mit einem Phosphor versehen. Das heißt zum Beispiel, daß das Lumineszenzkonversionselement einen Teil einer vom Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung spektral selektiv absorbiert und im längerwelligen Bereich (im zweiten Wellenlängenbereich) emittiert. Idealerweise weist die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung bei einer Wellenlänge  $\lambda \leq 520$  nm ein Intensitätsmaximum auf.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements besteht das Lumineszenzkonversionselement zumindest teilweise aus einem transparenten Epoxidharz, das mit dem anorganischen Leuchtstoff versehen ist. Vorteilhafterweise lassen sich nämlich anorganische Leuchtstoffe insbesondere Phosphore wie z. B. YAG : Ce ( $Y_3Al_5O_{12} : Ce^{3+}$ ), auf einfache Weise in Epoxidharz einbinden. Weiterhin als Leuchtstoffe geeignet sind weitere mit Seltenen Erden dotierte Granate wie z. B.  $Y_3Ga_5O_{12} : Ce^{3+}$ ,  $Y(Al,Ga)_5O_{12} : Ce^{3+}$  und  $Y(Al,Ga)_5O_{12} : Tb^{3+}$  sowie mit Seltenen Erden dotierte Erdalkali-Sulfide wie z. B.  $SrS : Ce^{3+}$ ,  $Na$ ,  $SrS : Ce^{3+}$ ,  $Cl$ ,  $SrS : CeCl_3$ ,  $CaS : Ce^{3+}$  und  $SrSe : Ce^{3+}$ .

Zur Erzeugung von mischfarbigem Licht eignen sich darüberhinaus mit Seltenen Erden dotierte Thiogallate wie z. B.  $CaGa_2S_4 : Ce^{3+}$  und  $SrGa_2S_4 : Ce^{3+}$  sowie mit Seltenen Erden dotierte Aluminate wie z. B.  $YAlO_3 : Ce^{3+}$ ,  $YGaO_3 : Ce^{3+}$ ,  $Y(Al,Ga)O_3 : Ce^{3+}$  und mit Seltenen Erden dotierte Orthosilikate  $M_2SiO_5 : Ce^{3+}$  (M: Sc, Y, Sc) wie z. B.  $Y_2SiO_5 : Ce^{3+}$ . Bei allen Yttriumverbindungen kann das Yttrium im Prinzip auch durch Scandium oder Lanthan ersetzt werden.

Ebenso kann vorteilhafterweise bei dem erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement auch eine Anzahl (einer oder mehrere) von aus dem ersten Wellenlängenbereich stammenden ersten spektralen Teilbereichen in mehrere zweite Wellenlängenbereiche umgewandelt werden. Dadurch ist es vorteilhafterweise möglich, vielfältige Farbmischungen und Farbtemperaturen zu erzeugen.

Das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement hat den besonderen Vorteil, daß das über Lumineszenzkonversion erzeugte Wellenlängenspektrum und damit die Farbe des abgestrahlten Lichtes nicht von der Höhe der Betriebsstromstärke durch den Halbleiterkörper abhängt. Dies ist insbesondere dann von großer Bedeutung, wenn die Umgebungstemperatur des Halbleiterbauelementes und damit bekanntermaßen auch die Betriebsstromstärke stark schwankt. Besonders Leuchtdioden mit einem Halbleiterkörper auf der Basis von GaN sind diesbezüglich sehr empfindlich.

Außerdem benötigt das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement im Gegensatz zu den eingangs genannten Multi-LEDs nur eine einzige Ansteuerspannung und damit auch nur eine einzige Ansteuerschaltungsanordnung, wodurch der Bauteileaufwand sehr gering gehalten werden kann.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist als Lumineszenzkonversionselement über oder auf dem Halbleiterkörper eine teiltransparente, d. h. eine für die von dem Strahlung aussendenden Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung teilweise transparente Lumineszenzkonversionsschicht vorgesehen. Um eine einheitliche Farbe des abgestrahlten Lichtes sicherzustellen, ist vorteilhafterweise die Lumineszenzkonversionsschicht derart ausgebildet, daß sie durchweg eine konstante Dicke aufweist. Ein besonderer Vorteil eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements gemäß dieser Weiterbildung besteht darin, daß auf einfache Weise eine hohe Reproduzierbarkeit erzielt werden kann, was für eine effiziente Massenfertigung von wesentlicher Bedeutung ist. Als Lumineszenzkonversionsschicht kann beispielsweise eine mit anorganischem Leuchtstoff versetzte Lack- oder Kunstharzschicht vorgesehen sein.

Eine andere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes weist als Lumineszenzkonversionselement eine teiltransparente Lumi-

neszenzkonversionsumhüllung auf, die zumindest einen Teil des Halbleiterkörpers (und evtl. Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse) umschließt und gleichzeitig als Bauteilumhüllung (Gehäuse) genutzt sein kann. Der Vorteil eines Halbleiterbauelements gemäß dieser Ausführungsform besteht im wesentlichen darin, daß zu seiner Herstellung konventionelle, für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden (z. B. Radial-Leuchtdioden) eingesetzte Produktionslinien genutzt werden können. Für die Bauteilumhüllung ist anstelle des bei herkömmlichen Leuchtdioden dafür verwendeten transparenten Kunststoffes das Material der Lumineszenzkonversionsumhüllung verwendet.

Bei vorteilhaften Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements und der beiden oben genannten bevorzugten Ausführungsformen besteht die Lumineszenzkonversionsschicht bzw. die Lumineszenzkonversionsumhüllung aus einem transparenten Material (z. B. Kunststoff (wie Epoxidharz)), das mit mindestens einem anorganischen Farbstoff versehen ist (Beispiele für geeignete Kunststoffe finden sich weiter unten). Auf diese Weise lassen sich Lumineszenzkonversionselemente besonders kostengünstig herstellen. Die dazu notwendigen Verfahrensschritte sind nämlich ohne großen Aufwand in herkömmliche Produktionslinien für Leuchtdioden integrierbar.

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung bzw. der o. g. Ausführungsformen ist vorgesehen, daß der oder die zweiten Wellenlängenbereiche zumindest teilweise größere Wellenlängen aufweisen als der erste Wellenlängenbereich.

Insbesondere ist vorgesehen, daß ein zweiter spektraler Teilbereich des ersten Wellenlängenbereiches und ein zweiter Wellenlängenbereich zueinander komplementär sind. Auf diese Weise kann aus einer einzigen farbigen Lichtquelle, insbesondere einer Leuchtdiode mit einem einzigen blauen oder grünen Licht abstrahlenden Halbleiterkörper, mischfarbiges, insbesondere weißes Licht erzeugt werden. Um z. B. mit einem blauen Licht aussendenden Halbleiterkörper weißes Licht zu erzeugen, wird ein Teil des von dem Halbleiterkörper ausgesandten Spektralbereiches in einen gelben Spektralbereich konvertiert. Die Farbtemperatur des weißen Lichtes kann dabei durch geeignete Wahl des anorganischen Leuchtstoffes und geeignete Gestaltung des Lumineszenzkonversionselements (z. B. hinsichtlich Schichtdicke und Leuchtstoffkonzentration), variiert werden. Darüberhinaus bieten diese Anordnungen vorteilhafterweise auch die Möglichkeit, Leuchtstoffmischungen einzusetzen, wodurch sich vorteilhafterweise der gewünschte Farbton sehr genau einstellen läßt.

Ebenso können Lumineszenzkonversionselemente inhomogen ausgestaltet sein, z. B. mittels einer inhomogenen Leuchtstoffverteilung. Unterschiedliche Weglängen des Lichtes durch das Lumineszenzkonversionselement können dadurch vorteilhafterweise kompensiert werden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements weist das Lumineszenzkonversionselement oder ein anderer Bestandteil einer Bauteilumhüllung zur Farbanpassung einen oder mehrere Farbstoffe auf, die keine Wellenlängenkonversion bewirken. Hierzu können die für die Herstellung von herkömmlichen Leuchtdioden verwendeten Farbstoffe wie z. B. Azo-, Anthrachinon- oder Perinon-Farbstoffe wie herkömmlich eingesetzt werden.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist zumindest ein Teil

der Oberfläche des Halbleiterkörpers von einer ersten, z. B. aus einem Kunststoff bestehenden transparenten Umhüllung umgeben, auf der die Lumineszenzkonversionsschicht aufgebracht ist. Dadurch wird die Strahlungsdichte im Lumineszenzkonversionselement und somit dessen Strahlungsbelastung verringert, was sich je nach verwendeten Materialien positiv auf die Lebensdauer des Lumineszenzkonversionselementes auswirkt.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sowie der oben genannten Ausführungsformen ist ein Halbleiterkörper, z. B. eine Leuchtdiode oder eine Laserdiode verwendet, bei dem das ausgesandte Strahlungsspektrum bei einer Wellenlänge zwischen 420nm und 460 nm, insbesondere bei 430 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von  $Ga_xAl_{1-x}N$ ) oder 450 nm (z. B. Halbleiterkörper auf der Basis von  $Ga_xIn_{1-x}N$ ) ein Intensitätsmaximum. Mit einem derartigen erfindungsgemäßen Halbleiterbauelement lassen sich vorteilhafterweise nahezu sämtliche Farben und Mischfarben der C.I.E. -Farbtafel erzeugen.

Bei einer weiteren besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung und deren Ausführungsformen ist die Lumineszenzkonversionsumhüllung bzw. die Lumineszenzkonversionsschicht aus einem Lack oder aus einem Kunststoff, wie beispielsweise die für die Umhüllung optoelektronischer Bauelemente eingesetzten Silikon-, Thermoplast- oder Duroplastrmaterialien (Epoxid u. Acrylatharze) hergestellt. Desweiteren können z. B. aus Thermoplastmaterialien gefertigte Abdeckelemente als Lumineszenzkonversionsschicht eingesetzt sein. Sämtliche oben genannten Materialien lassen sich auf einfache Weise mit einem oder mehreren anorganischen Leuchtstoffen versetzen.

Besonders einfach läßt sich ein erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement vorteilhafterweise dann realisieren, wenn der Halbleiterkörper gemäß einer bevorzugten Weiterbildung in einer Ausnehmung eines gegebenenfalls vorgefertigten Gehäuses angeordnet ist und die Ausnehmung mit einem die Lumineszenzkonversionsschicht aufweisenden Abdeckelement versehen ist. Ein derartiges Halbleiterbauelement läßt sich in großer Stückzahl in herkömmlichen Produktionslinien herstellen. Hierzu muß lediglich nach der Montage des Halbleiterkörpers in das Gehäuse, das Abdeckelement, beispielsweise eine Lack- oder Gießharzschicht oder eine vorgefertigte Abdeckplatte aus Thermoplastmaterial, auf das Gehäuse aufgebracht werden. Optional kann die Ausnehmung des Gehäuses mit einem transparenten Material, beispielsweise einem transparenten Kunststoff, gefüllt sein, das z. B. die Wellenlänge des von dem Halbleiterkörper ausgesandten Lichtes nicht verändert oder aber, falls gewünscht, bereits lumineszenzkonvertierend ausgebildet sein kann. Im letztgenannten Fall kann das Abdeckelement auch weggelassen sein.

Vorteilhafte Materialien zur Herstellung der o. g. Lumineszenzkonversionsschicht bzw. Lumineszenzkonversionsumhüllung sind z. B. Polymethylmetacrylat (PMMA) oder Epoxidharz dem ein oder mehrere anorganische Leuchtstoffe zugesetzt sind.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements bestehen zumindest alle lichtdurchstrahlten Komponenten der Umhüllung, d. h. auch die Lumineszenzkonversionsumhüllung bzw. -schicht aus rein anorganischen Materialien. Das Lumineszenzkonversionselement besteht somit aus einem anorganischen Leuchtstoff, der in einem temperaturstabilen, transparenten oder teiltransparenten anorganischen Material eingebettet ist. Insbe-

sondere besteht das Lumineszenzkonversionselement aus einem anorganischen Phosphor, der in ein vorteilhafterweise niedrig schmelzendes anorganisches Glas (z. B. Silikatglas) eingebettet ist. Eine bevorzugte Herstellungsweise für eine derartige Lumineszenzkonversionsschicht ist die Sol-Gel-Technik, mit der die gesamte Lumineszenzkonversionsschicht, d. h. sowohl der anorganische Leuchtstoff als auch das Einbettmaterial in einem Arbeitsgang hergestellt werden kann.

Um die Durchmischung der von dem Halbleiterkörper ausgesandten Strahlung des ersten Wellenlängenbereiches mit der lumineszenzkonvertierten Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches und damit die Farbkonstanz des abstrahlten Lichtes zu verbessern, ist bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements der Lumineszenzsumhüllung bzw. der Lumineszenzkonversionsschicht und/oder einer anderen Komponente der Bauteilumhüllung zusätzlich ein im Blauen lumineszierender Farbstoff hinzugefügt, der eine sogenannte Richtcharakteristik der von dem Halbleiterkörper abgestrahlten Strahlung abschwächt. Unter Richtcharakteristik ist zu verstehen, daß die von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung eine bevorzugte Abstrahlrichtung aufweist.

Bei einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements ist zu diesem Zweck ein pulverförmiger anorganischer Leuchtstoff verwendet, der sich in dem ihn umhüllenden Stoff (Matrix) nicht löst. Außerdem weisen der anorganische Leuchtstoff und der ihn umhüllende Stoff voneinander verschiedene Brechungsindizes auf. Dies führt vorteilhafterweise dazu, daß abhängig von der Korngröße des Leuchtstoffes, ein Anteil des nicht vom Leuchtstoff absorbierten Lichtes gestreut wird. Dadurch ist die Richtcharakteristik der von dem Halbleiterkörper abgestrahlten Strahlung effizient geschwächt, so daß die nicht absorbierte Strahlung und die lumineszenzkonvertierte Strahlung homogen gemischt werden, was zu einem räumlich homogenen Farbeindruck führt. Das ist z. B. der Fall, wenn YAG : Ce mit einer Korngröße von  $4\ \mu\text{m}$  –  $13\ \mu\text{m}$  in Epoxidharz eingebettet ist.

Ein weißes Licht abstrahlendes erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement läßt sich beispielsweise dadurch realisieren, daß einem zur Herstellung der Lumineszenzkonversionsschicht verwendeten Epoxidharz der anorganische Leuchtstoff  $\text{Y}_2\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Ce}^{3+}$  beigemischt wird. Ein Teil einer von dem Halbleiterkörper ausgesandten blauen Strahlung wird von dem anorganischen Leuchtstoff  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Ce}^{3+}$  in den gelben Spektralbereich und somit in einen komplementären Wellenlängenbereich verschoben. Der Farbton (Farbort in der CIE-Farbtabelle) des weißen Lichts kann dabei durch geeignete Wahl der Farbstoffmischung und -konzentration variiert werden.

Der anorganische Leuchtstoff YAG : Ce hat unter anderem den besonderen Vorteil, daß es sich hierbei um nicht lösliche Farbpigmente (Teilchengröße z. B.  $10\ \mu\text{m}$ ) mit einem Brechungsindex von ca. 1,84 handelt. Dadurch tritt neben der Wellenlängenkonversion noch ein Streueffekt auf, der zu einer guten Vermischung von blauer Diodenstrahlung und gelber Konverterstrahlung führt.

Bei einer weiteren bevorzugten Weiterbildung eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements bzw. der oben angegebenen vorteilhaften Ausführungsformen sind dem Lumineszenzkonversionselement oder einer anderen strahlungsdurchlässigen Komponente der Bauteilumhüllung zusätzlich lichtstreuende Partikel, sogenannte Diffusoren zugesetzt. Hierdurch läßt sich vor-

teilhafterweise der Farbeindruck und die Abstrahlcharakteristik des Halbleiterbauelements weiter optimieren.

Von besonderem Vorteil ist, daß die Leuchteffizienz von weißleuchtenden erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen bzw. deren o. g. Ausführungsformen mit einem im wesentlichen auf der Basis von GaN hergestellten blau leuchtenden Halbleiterkörper gegenüber der Leuchteffizienz einer Glühbirne erheblich erhöht ist. Der Grund dafür besteht darin, daß zum einen die externe Quantenausbeute derartiger Halbleiterkörper bei einigen Prozent liegt und andererseits die Lumineszenzausbeute von anorganischen Leuchtstoffen oft bei über 90% angesiedelt ist. Darüberhinaus zeichnet sich das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement im Vergleich zur Glühbirne durch eine extrem lange Lebensdauer, größere Robustheit und eine kleinere Betriebsspannung aus.

Vorteilhaft ist weiterhin, daß die für das menschliche Auge wahrnehmbare Helligkeit des erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements gegenüber einem ohne Lumineszenzkonversionselement ausgestatteten, aber sonst identischen Halbleiterbauelement deutlich erhöht werden kann, da die Augenempfindlichkeit zu höherer Wellenlänge hin zunimmt. Es kann darüberhinaus auch ultraviolettes Licht in sichtbares Licht umgewandelt werden.

Das hier vorgestellte Konzept der Lumineszenzkonversion mit blauem Licht eines Halbleiterkörpers läßt sich vorteilhafterweise auch auf mehrstufige Lumineszenzkonversionselemente erweitern, nach dem Schema ultraviolett → blau → grün → gelb → rot. Hierbei werden mehrere unterschiedlich spektral selektiv emittierende Lumineszenzkonversionselemente relativ zum Halbleiterkörper hintereinander angeordnet.

Ebenso können vorteilhafterweise mehrere unterschiedlich spektral selektiv emittierende anorganische Leuchtstoffe gemeinsam in einen transparenten Kunststoff eines Lumineszenzkonversionselements eingebettet sein. Hierdurch ist ein sehr breites Farbenspektrum erzeugbar.

Besonders vorteilhaft können erfindungsgemäße Halbleiterbauelemente gemäß der vorliegenden Erfindung z. B. in vollfarbtauglichen LED-Anzeigevorrichtungen (Displays) oder zu Beleuchtungszwecken in Flugzeugen, Kraftfahrzeugen usw. eingesetzt werden.

Ein besonderer Vorteil von erfindungsgemäßen weißes Licht abstrahlenden Halbleiterbauelementen auf der Basis Ce-dotierter Phosphore, insbesondere Ce-dotierter Granate wie z. B. YAG : Ce als Leuchtstoff, besteht darin, daß diese Leuchtstoffe bei Anregung mit blauem Licht eine spektrale Verschiebung von ca. 100 nm zwischen Absorption und Emission bewirkt. Dies führt zu einer wesentlichen Reduktion der Reabsorption des vom Leuchtstoff emittierten Lichtes und damit zu einer höheren Lichtausbeute. Außerdem besitzen derartige anorganische Leuchtstoffe vorteilhafterweise im allgemeinen eine hohe thermische und photochemische (z. B. UV-) Stabilität (wesentlich höher als organische Leuchtstoffe), so daß auch Weiß leuchtende Dioden für Außenanwendung und/oder hohe Temperaturbereiche herstellbar sind.

Besonders vorteilhaft lassen sich erfindungsgemäße Halbleiterbauelemente insbesondere aufgrund ihrer geringen Leistungsaufnahme in vollfarbtauglichen LED-Displays, zur Beleuchtung von Kfz-Innenräumen oder von Flugzeugkabinen sowie zur Beleuchtung von Anzeigevorrichtungen wie Kfz-Armaturen oder Flüssig-

kristallanzeigen verwenden.

Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von neun Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Fig. 1 bis 12. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht durch ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements;

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;

Fig. 3 eine schematische Schnittansicht durch ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;

Fig. 4 eine schematische Schnittansicht eines vierten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;

Fig. 5 eine schematische Schnittansicht eines fünften Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;

Fig. 6 eine schematische Schnittansicht eines sechsten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Emissionsspektrums eines blauen Licht abstrahlenden Halbleiterkörpers mit einer Schichtenfolge auf der Basis von GaN;

Fig. 8 eine schematische Darstellung der Emissionsspektren von erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementen, die weißes Licht abstrahlen;

Fig. 9 eine schematische Schnittdarstellung durch einen Halbleiterkörper, der blaues Licht aussendet;

Fig. 10 eine schematische Schnittansicht eines siebten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes;

Fig. 11 eine schematische Schnittansicht eines achten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes und

Fig. 12 eine schematische Schnittansicht eines neunten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelementes.

In den verschiedenen Figuren sind jeweils gleiche oder gleichwirkende Teile immer mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Licht aussendenden Halbleiterbauelement weist ein Halbleiterkörper 1, z. B. eine Leuchtdiode oder eine Laserdiode, einen Rückseitenkontakt 11, einen Vorderseitenkontakt 12 und eine sich aus einer Anzahl von unterschiedlichen Schichten zusammensetzende Schichtenfolge 7 auf, die mindestens eine Strahlung (z. B. ultraviolette, blaue oder grüne Strahlung) aussendende aktive Zone besitzt.

Ein Beispiel für eine geeignete Schichtenfolge 7 für dieses und für sämtliche im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele ist in Fig. 9 gezeigt. Hierbei ist auf einem Substrat 18, das z. B. aus SiC besteht, eine Schichtenfolge aus einer AlN- oder GaN-Schicht 19, einer n-leitenden GaN-Schicht 20, einer n-leitenden  $Ga_xAl_{1-x}N$ - oder  $Ga_xIn_{1-x}N$ -Schicht 21, einer weiteren n-leitenden GaN- oder  $Ga_xIn_{1-x}N$ -Schicht 22, einer p-leitenden  $Ga_xAl_{1-x}N$ - oder  $Ga_xIn_{1-x}N$ -Schicht 23 und einer p-leitenden GaN-Schicht 24 aufgebracht. Auf einer Hauptfläche 25 der p-leitenden GaN-Schicht 24 und einer Hauptfläche 26 des Substrats 18 ist jeweils eine Kontaktmetallisierung 27, 28 aufgebracht, die aus einem herkömmlich in der Halbleitertechnik für elektrische Kontakte verwendeten Werkstoff besteht.

Es kann jedoch auch jeder andere dem Fachmann für

das erfindungsgemäße Halbleiterbauelement als geeignet erscheinende Halbleiterkörper verwendet werden. Dies gilt ebenso für sämtliche nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele.

Im Ausführungsbeispiel von Fig. 1 ist der Halbleiterkörper 1 mittels eines elektrisch leitenden Verbindungsmittels, z. B. ein metallisches Lot oder ein Klebstoff, mit seinem Rückseitenkontakt 11 auf einem ersten elektrischen Anschluß 2 befestigt. Der Vorderseitenkontakt 12 ist mittels eines Bonddrahtes 14 mit einem zweiten elektrischen Anschluß 3 verbunden.

Der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 sind unmittelbar von einer Lumineszenzkonversionsumhüllung 5 umschlossen. Diese besteht beispielsweise aus einem für transparente Leuchtdiodenumhüllungen verwendbaren transparenten Kunststoff (z. B. Epoxidharz oder Polymethylmethacrylat) oder einem niedrig schmelzenden anorganischen Glas, dem ein anorganischer Leuchtstoff 6, z. B.  $Y_3Al_5O_{12} : Ce^{3+}$  (YAG : Ce) für ein weißes Licht abstrahlendes Halbleiterbauelement, beigemischt ist.

Das in Fig. 2 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Halbleiterbauelements unterscheidet sich von dem der Fig. 1 dadurch, daß der Halbleiterkörper 1 und Teilbereiche der elektrischen Anschlüsse 2 und 3 anstatt von einer Lumineszenzkonversionsumhüllung von einer transparenten Umhüllung 15 umschlossen sind. Diese transparente Umhüllung 15 bewirkt keine Wellenlängenänderung einer von dem Halbleiterkörper 1 ausgesandten Strahlung und besteht beispielsweise aus einem in der Leuchtdiodentechnik herkömmlich verwendeten Epoxid-, Silikon- oder Acrylatharz oder aus einem anderen geeigneten strahlungsdurchlässigen Material wie z. B. anorganisches Glas.

Auf diese transparente Umhüllung 15 ist eine Lumineszenzkonversionsschicht 4 aufgebracht, die, wie in der Fig. 2 dargestellt, die gesamte Oberfläche der Umhüllung 15 bedeckt. Ebenso denkbar ist, daß die Lumineszenzkonversionsschicht 4 nur einen Teilbereich dieser Oberfläche bedeckt. Die Lumineszenzkonversionsschicht 4 besteht beispielsweise wiederum aus einem transparenten Kunststoff (z. B. Epoxidharz, Lack oder Polymethylmethacrylat) oder aus einem anorganischen Glas, der bzw. das mit einem anorganischen Leuchtstoff 6 versetzt ist. Auch hier eignet sich als Leuchtstoff für ein weiß leuchtendes Halbleiterbauelement z. B. YAG : Ce.

Dieses Ausführungsbeispiel hat den besonderen Vorteil, daß für die gesamte von dem Halbleiterkörper ausgesandte Strahlung die Weglänge durch das Lumineszenzkonversionselement näherungsweise gleich groß ist. Dies spielt insbesondere dann eine bedeutende Rolle, wenn, wie oftmals der Fall, der genaue Farbton des von dem Halbleiterbauelement abgestrahlten Lichtes von dieser Weglänge abhängt.

Zur besseren Auskopplung des Lichtes aus der Lumineszenzkonversionsschicht 4 von Fig. 2 kann auf einer Seitenfläche des Bauelements eine linsenförmige Abdeckung 29 (gestrichelt eingezeichnet) vorgesehen sein, die eine Totalreflexion der Strahlung innerhalb der Lumineszenzkonversionsschicht 4 reduziert. Diese linsenförmige Abdeckung 29 kann aus transparentem Kunststoff oder Glas bestehen und auf die Lumineszenzkonversionsschicht 4 beispielsweise aufgeklebt oder direkt als Bestandteil der Lumineszenzkonversionsschicht 4 ausgebildet sein.

Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel sind der erste und der zweite elektrische Anschluß 2, 3 in

# Explore Litigation Insights

Docket Alarm provides insights to develop a more informed litigation strategy and the peace of mind of knowing you're on top of things.

## Real-Time Litigation Alerts



Keep your litigation team up-to-date with **real-time alerts** and advanced team management tools built for the enterprise, all while greatly reducing PACER spend.

Our comprehensive service means we can handle Federal, State, and Administrative courts across the country.

## Advanced Docket Research



With over 230 million records, Docket Alarm's cloud-native docket research platform finds what other services can't. Coverage includes Federal, State, plus PTAB, TTAB, ITC and NLRB decisions, all in one place.

Identify arguments that have been successful in the past with full text, pinpoint searching. Link to case law cited within any court document via Fastcase.

## Analytics At Your Fingertips



Learn what happened the last time a particular judge, opposing counsel or company faced cases similar to yours.

Advanced out-of-the-box PTAB and TTAB analytics are always at your fingertips.

## API

Docket Alarm offers a powerful API (application programming interface) to developers that want to integrate case filings into their apps.

## LAW FIRMS

Build custom dashboards for your attorneys and clients with live data direct from the court.

Automate many repetitive legal tasks like conflict checks, document management, and marketing.

## FINANCIAL INSTITUTIONS

Litigation and bankruptcy checks for companies and debtors.

## E-DISCOVERY AND LEGAL VENDORS

Sync your system to PACER to automate legal marketing.