(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
01. Oktober 2020 (01.10.2020)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/193233 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 33/44 (2010.01) *H01L 33/50* (2010.01)
H01L 33/20 (2010.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/056914

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. März 2020 (13.03.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2019 107 428.2
22. März 2019 (22.03.2019) DE

(71) Anmelder: **OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH** [DE/DE]; Leibnizstr. 4, 93055 Regensburg (DE).

(72) Erfinder: **TANGRING, Ivar**; Gutenbergplatz 4, 93047 Regensburg (DE).

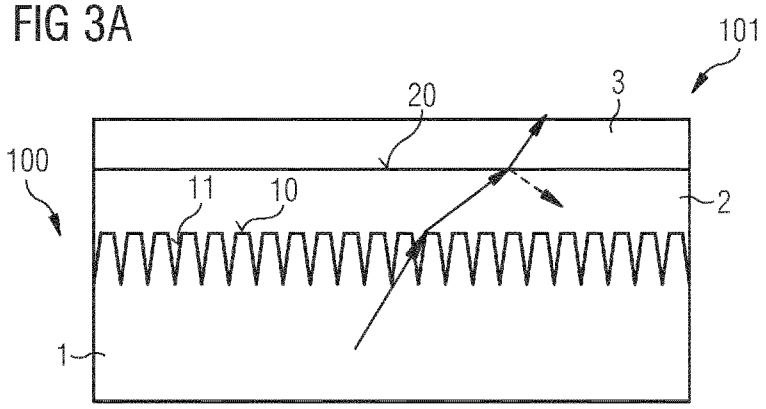
(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) **Title:** LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR COMPONENT, METHOD FOR PRODUCING A LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR COMPONENT, AND USE OF THE LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR COMPONENT

(54) **Bezeichnung:** LICHT EMITTIERENDES HALBLEITERBAUELEMENT, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES LICHT EMITTIERENDEN HALBLEITERBAUELEMENTS UND VERWENDUNG DES LICHT EMITTIERENDEN HALBLEITERBAUELEMENTS

FIG 3A



(57) **Abstract:** A light-emitting semiconductor component (101) is specified, comprising a light-emitting semiconductor chip (100) having a semiconductor layer sequence (1) having a light output coupling surface (10) and a dielectric output coupling layer (2) directly on the light output coupling surface, and a covering material (3) comprising a transparent plastic on the output coupling layer, wherein the transparent plastic has a temperature-dependent first refractive index and the output coupling layer has a second refractive index, wherein at room temperature the first refractive index is greater than the second refractive index, and wherein a difference between the first refractive index and the second refractive index is greater at room temperature than at a maximum operating temperature. Furthermore, a method for producing the light-emitting semiconductor component and a use of the light-emitting semiconductor component are specified.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement (101) angegeben, das einen Licht emittierenden Halbleiterchip (100) mit einer Halbleiterschichtenfolge (1) mit einer Lichtauskoppelfläche (10) und einer dielektrischen Auskoppelschicht

WO 2020/193233 A1

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(2) unmittelbar auf der Lichtauskoppelfläche und ein Abdeckmaterial (3) mit einem transparenten Kunststoff auf der Auskoppelschicht aufweist, wobei der transparente Kunststoff einen temperaturabhängigen ersten Brechungsindex und die Auskoppelschicht einen zweiten Brechungsindex aufweist, wobei bei Raumtemperatur der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex ist und wobei eine Differenz zwischen dem ersten Brechungsindex und dem zweiten Brechungsindex bei Raumtemperatur größer ist als bei einer maximalen Betriebstemperatur. Weiterhin werden ein Verfahren zur Herstellung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements und eine Verwendung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements angegeben.

Beschreibung

LICHT EMITTIERENDES HALBLEITERBAUELEMENT, VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES LICHT EMITTIERENDEN HALBLEITERBAUELEMENTS UND VERWENDUNG DES LICHT EMITTIERENDEN HALBLEITERBAUELEMENTS

Es werden ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement, ein Verfahren zur Herstellung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements und eine Verwendung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements angegeben.

Diese Patentanmeldung beansprucht die Priorität der deutschen Patentanmeldung 10 2019 107 428.2, deren Offenbarungsgehalt hiermit durch Rückbezug aufgenommen wird.

Leuchtdiodenchips werden üblicherweise in einem Gehäuse oder auf einem Träger montiert und mit einem Kunststoffmaterial bedeckt. Übliche hierfür verwendete Kunststoffe weisen einen Brechungsindex auf, der sich mit steigender Temperatur verringert. Beispielsweise weist Silikon eine typische Änderungsrate des Brechungsindex von etwa $4\times10^{-4}/K$ auf, was eine Reduktion des Brechungsindex bei einer Wellenlänge von 589 nm von etwa 1,41 bei 25°C, also Raumtemperatur, über 1,39 bei 85°C auf 1,37 bei 150°C bedingt. Da die anorganischen Materialien des Leuchtdiodenchips höhere Brechungsindizes, aber mit einer deutlich geringeren Temperaturabhängigkeit von typischer um mindestens einen Faktor 10 geringer aufweisen, ändert sich somit an der Grenzfläche zwischen einem Leuchtdiodenchip und einem an den Chip angrenzenden Kunststoffmaterial abhängig von der Temperatur der kritische Winkel, ab dem eine Totalreflexion an der Grenzfläche stattfindet. Insbesondere vergrößert sich aufgrund des mit steigender Temperatur kleiner werdenden Brechungsindex des

Kunststoffmaterials der Anteil von Licht, der totalreflektiert wird, was zu einer geringeren Lichtauskopplung vom Leuchtdiodenchip in den Kunststoff führt. Dieses Problem existiert für Leuchtdiodenchips, die mit einem Klarverguss umgeben sind, genauso wie für Leuchtdiodenchips, die mit einem einen Leuchtstoff enthaltenden Kunststoff umgeben sind.

Um dieses Problem zu mindern, ist es beispielsweise bekannt, dem Kunststoffmaterial Streupartikel, beispielsweise aus Glas, Siliziumdioxid oder Titandioxid, zuzugeben, die einen vom Kunststoffmaterial verschiedenen Brechungsindex aufweisen. Der Brechungsindexunterschied zwischen dem Kunststoffmaterial und den Streupartikeln ändert sich abhängig von der Temperatur aufgrund der beschriebenen großen Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex des Kunststoffmaterials, so dass sich auch der Streugrad einer solchen Streuschicht mit der Temperatur ändert, wodurch die sich reduzierende Extraktionseffizient vom Leuchtdiodenchip in das Kunststoffmaterial teilweise ausgeglichen werden kann. Um jedoch einen ausreichend hohen Streugrad zu erreichen, ist eine bestimmte Mindestmenge von Streupartikeln notwendig, so dass es beispielsweise kaum möglich ist, den gewünschten Effekt in dünnen Kunststoffschichten zu realisieren. Weiterhin können die Streupartikel die Abstrahlcharakteristik in unerwünschter Weise verändern. Dies kann beispielsweise im Fall einer dem Kunststoffmaterial mit den Streupartikeln nachgeordneten Linse zu einem Problem führen, da die Abstrahlcharakteristik einer Linse stark von der Strahlcharakteristik und Position der zugehörigen Lichtquelle abhängt, die in diesem Fall durch die veränderte Streuung beeinflusst wird.

Zumindest eine Aufgabe von bestimmten Ausführungsformen ist es, ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement anzugeben. Aufgaben von weiteren Ausführungsformen sind es, ein Verfahren zur Herstellung und eine Verwendung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements anzugeben.

Diese Aufgaben werden durch die Gegenstände gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des Gegenstands sind in den abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet und gehen weiterhin aus der nachfolgenden Beschreibung und den Zeichnungen hervor.

Gemäß zumindest einer Ausführungsform weist ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement einen Licht emittierenden Halbleiterchip auf.

Gemäß zumindest einer weiteren Ausführungsform wird in einem Verfahren zur Herstellung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements ein Licht emittierender Halbleiterchip bereitgestellt.

Gemäß zumindest einer weiteren Ausführungsform wird das Licht emittierende Halbleiterbauelement beim einem Verfahren zum Betrieb des Licht emittierenden Halbleiterbauelements verwendet.

Die nachfolgenden Ausführungsformen und Merkmale beziehen sich gleichermaßen auf das Licht emittierende Halbleiterbauelement, das Verfahren zur Herstellung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements und die Verwendung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements.

Der Licht emittierende Halbleiterchip weist insbesondere eine Halbleiterschichtenfolge mit einem aktiven Bereich zur Erzeugung von Licht auf. Der aktive Bereich kann insbesondere eine aktive Schicht aufweisen, in der im Betrieb das Licht erzeugt wird. Sofern im Folgenden von einer Wellenlänge des von der Halbleiterschichtenfolge oder vom Licht emittierenden Halbleiterchip erzeugten Lichts die Rede ist, bezieht sich dies, wenn nicht anders beschrieben, auf eine charakteristische Wellenlänge des Lichts, besonders bevorzugt im betreffenden Material. Die charakteristische Wellenlänge kann dabei die intensitätsstärkste Wellenlänge des Spektrums des erzeugten Lichts bezeichnen. Alternativ kann die charakteristische Wellenlänge auch die mittlere Wellenlänge des Spektralbereichs, in dem das erzeugte Licht liegt, bezeichnen. Weiterhin kann die charakteristische Wellenlänge auch die über die einzelnen spektralen Intensitäten gewichtete mittlere Wellenlänge des Spektrums des erzeugten Lichts bezeichnen.

Besonders bevorzugt kann die Halbleiterschichtenfolge mittels eines Epitaxieverfahrens, beispielsweise mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) oder Molekularstrahlepitaxie (MBE), hergestellt werden. Die Halbleiterschichtenfolge weist hierdurch Halbleiterschichten auf, die entlang einer Anordnungsrichtung in einer vertikalen Richtung, die durch die Aufwachsrichtung gegeben ist, übereinander angeordnet sind. Senkrecht zur vertikalen Richtung weisen die Schichten der Halbleiterschichtenfolge jeweils eine Haupterstreckungsebene auf. Richtungen parallel zur Haupterstreckungsebene der Halbleiterschichten werden im Folgenden als laterale Richtungen bezeichnet.

Der Licht emittierende Halbleiterchip kann je nach in die Umgebung abzustrahlendem Licht eine Halbleiterschichtenfolge auf der Basis von verschiedenen Halbleitermaterialsystemen aufweisen. Für eine langwellige, infrarote bis rote Strahlung ist beispielsweise eine Halbleiterschichtenfolge auf Basis von $In_xGa_yAl_{1-x-y}As$ geeignet, für rote bis grüne Strahlung ist beispielsweise eine Halbleiterschichtenfolge auf Basis von $In_xGa_yAl_{1-x-y}P$ geeignet und für kurzwelligere sichtbare Strahlung, also insbesondere für grüne bis blaue Strahlung, und/oder für UV-Strahlung ist beispielsweise eine Halbleiterschichtenfolge auf Basis von $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ geeignet, wobei jeweils $0 \leq x \leq 1$ und $0 \leq y \leq 1$ gilt. Zur elektrischen Kontaktierung kann der Licht emittierende Halbleiterchip Kontaktschichten aufweisen, mittels derer im Betrieb ein elektrischer Strom zur Lichterzeugung in die Halbleiterschichtenfolge eingeprägt werden kann. Darüber hinaus können weitere Schichten und Elemente vorhanden sein, beispielsweise ein Substrat, auf dem die Halbleiterschichtenfolge aufgewachsen oder nach dem Aufwachsen durch Übertragung aufgebracht ist, Passivierungsschichten und/oder Spiegelschichten. Der Licht emittierende Halbleiterchip kann beispielsweise als so genannter Volumenemitter, als Dünnfilmhalbleiterchip oder als Flip-Chip ausgebildet sein. Aufbau, Struktur und Funktionsweise von Licht emittierenden Halbleiterchips sind dem Fachmann bekannt und werden daher an dieser Stelle nicht näher erläutert.

Die Halbleiterschichtenfolge weist insbesondere eine Lichtauskoppelfläche auf, über die das im Betrieb erzeugte Licht aus der Halbleiterschichtenfolge in ein angrenzendes Material ausgekoppelt wird. Die Lichtauskoppelfläche kann besonders bevorzugt eine Hauptoberfläche der

Halbleiterschichtenfolge auf einer Lichtauskoppelseite sein, die senkrecht zur Aufwachsrichtung der Halbleiterschichtenfolge mit einer Haupterstreckungsebene in lateraler Richtung angeordnet sein kann. Weiterhin kann die Halbleiterschichtenfolge eine der Hauptoberfläche und damit eine der Lichtauskoppelfläche gegenüber liegende Rückseite aufweisen. Die Hauptoberfläche und die Rückseite können über Seitenflächen miteinander verbunden sein, die die Halbleiterschichtenfolge in lateraler Richtung begrenzen. Mit der Rückseitenfläche oder einer der Seitenflächen kann der Licht emittierende Halbleiterchip beispielsweise auf einem Träger angeordnet werden, wobei auf der Lichtauskoppelfläche, der Rückseitenfläche und/oder den Seitenflächen weitere Schichten vorhanden sein können, beispielsweise wie vorab beschrieben eine oder mehrere Passivierungsschichten und/oder eine oder mehrere elektrische Kontaktschichten. Beispielsweise kann auf der Halbleiterschichtenfolge eine Passivierungsschicht auf der Lichtauskoppelseite aufgebracht sein. In diesem Fall wird die Lichtauskoppelfläche der Halbleiterschichtenfolge durch die Passivierungsschicht gebildet.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Lichtauskoppelfläche eine Oberflächenstruktur auf. Die Oberflächenstruktur kann somit durch eine regelmäßige oder unregelmäßige Abfolge von Erhebungen und Vertiefungen in der Lichtauskoppelfläche gebildet sein. Weist die Halbleiterschichtenfolge wie vorab beschrieben eine Passivierungsschicht auf, kann diese derart dünn sein, dass die Passivierungsschicht im Wesentlichen einer Oberflächenstruktur in der Halbleiterschichtenfolge folgt und diese somit konform bedeckt. Weiterhin kann es auch möglich sein, dass die Oberflächenstruktur zumindest teilweise in der

Passivierungsschicht ausgebildet ist. Die Erhebungen und/oder Vertiefungen können gleich oder verschieden sein und beispielsweise zumindest teilweise pyramidenförmig mit einem regelmäßigen oder unregelmäßigen dreieckigen, viereckigen, sechseckigen oder anderen polygonalen Grundquerschnitt und/oder kegelförmig mit einem runden Grundquerschnitt ausgebildet sein. Die Begriffe „pyramidenförmig" und „kegelförmig" schließen entsprechende gerade und schiefe Formen mit spitzen, abgerundeten und/oder stumpfen Spitzen ein. Insbesondere können auch Pyramiden- und/oder Kegelstümpfe damit bezeichnet werden. Die Oberflächenstruktur kann beispielsweise durch Ätzen oder mechanisches Aufrauen der Lichtauskoppelfläche herstellbar sein.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist der Licht emittierende Halbleiterchip unmittelbar auf der Lichtauskoppelfläche eine dielektrische Auskoppelschicht auf. Mit anderen Worten grenzt die Auskoppelschicht direkt an die Lichtauskoppelfläche an, so dass im Betrieb in der Halbleiterschichtenfolge erzeugtes Licht durch die Lichtauskoppelfläche in die Auskoppelschicht eingekoppelt wird. Die Auskoppelschicht kann beispielsweise mittels einer Dünnschicht-Abscheidemethode aufgebracht werden, besonders bevorzugt mittels Sputtern, Aufdampfen oder chemischer Gasphasenabscheidung.

Weist die Lichtauskoppelfläche wie vorab beschrieben eine Oberflächenstruktur auf, ist die Auskoppelschicht besonders bevorzugt derart ausgebildet, dass die Auskoppelschicht die Oberflächenstruktur überragt. Mit anderen Worten weist die Auskoppelschicht eine Dicke auf, die so groß ist, dass die Oberflächenstruktur vollständig von der Auskoppelschicht bedeckt ist. Die Oberflächenstruktur kann somit durch die

Auskoppelschicht planarisiert sein, wobei die Auskoppelschicht bevorzugt auf einer der Halbleiterschichtenfolge und damit der Lichtauskoppelfläche gegenüber liegenden Seite eine glatte Oberfläche aufweist. Beispielsweise kann die glatte Oberfläche durch Polieren nach dem Aufbringen des Auskoppelschichtmaterials erzeugt werden. Besonders bevorzugt kann die Auskoppelschicht die Oberflächenstruktur um eine Dicke überragen, die mindestens so groß wie die Wellenlänge eines vom Licht emittierenden Halbleiterchip im Betrieb erzeugten Lichts ist. Beispielsweise kann die Auskoppelschicht die Oberflächenstruktur um mindestens 500 nm überragen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist das Licht emittierende Halbleiterbauelement ein Abdeckmaterial mit einem transparenten Kunststoff auf. Das Abdeckmaterial kann zumindest teilweise auf dem Licht emittierenden Halbleiterchip aufgebracht sein. Das Abdeckmaterial kann insbesondere in direktem Kontakt mit zumindest einem Teil des Licht emittierenden Halbleiterchips stehen. Insbesondere kann das Abdeckmaterial auf der transparenten Auskoppelschicht des Licht emittierenden Halbleiterchips angeordnet sein. Das kann insbesondere bedeuten, dass das Abdeckmaterial und damit der transparente Kunststoff unmittelbar auf der Auskoppelschicht angeordnet ist, so dass in der Halbleiterschichtenfolge im Betrieb des Licht emittierenden Halbleiterchips erzeugtes Licht, das von der Lichtauskoppelfläche in die Auskoppelschicht eingekoppelt wird, zumindest über die der Halbleiterschichtenfolge gegenüber liegende Seite der Auskoppelschicht direkt in das Abdeckmaterial eingekoppelt werden kann. Die Einkopplung von Licht von der Lichtauskoppelfläche in die Auskoppelschicht und von der Auskoppelschicht in das Abdeckmaterial und damit in den

Kunststoff des Abdeckmaterials kann abhängig von den jeweiligen Brechungsindices und Brechungsindexunterschieden erfolgen. Aufgrund einer möglichen Wellenlängenabhängigkeit von Brechungsindices, also einer Dispersion, die für unterschiedliche Materialien unterschiedlich sein kann, beziehen sich hier und im Folgenden, sofern nicht anders angegeben, die Angaben von Brechungsindices und Brechungsindexunterschieden auf die charakteristische Wellenlänge des vom Licht emittierenden Halbleiterchip oder der vom Licht emittierenden Halbleiterbauelement emittierten Licht. Beispielsweise kann für ein weiß emittierendes Halbleiterbauelement die charakteristische Wellenlänge im Bereich von 550 nm liegen.

Das Abdeckmaterial und insbesondere der transparente Kunststoff des Abdeckmaterials kann einen temperaturabhängigen ersten Brechungsindex aufweisen. Insbesondere kann der erste Brechungsindex eine derartige Temperaturabhängigkeit aufweisen, dass der erste Brechungsindex mit steigender Temperatur kleiner wird.

Das Abdeckmaterial und insbesondere der transparente Kunststoff des Abdeckmaterials kann beispielsweise eines oder mehrere der folgenden Materialien aufweisen oder daraus sein: Siloxane, Epoxide, Acrylate, Methylmethacrylate, Imide, Carbonate, Olefine, Styrole, Urethane oder Derivate davon in Form von Monomeren, Oligomeren oder Polymeren und weiterhin auch Mischungen, Copolymere oder Verbindungen damit. Beispielsweise kann der Kunststoff des Abdeckmaterials Silikon, Epoxidharz, Polymethylmethacrylat (PMMA), Polystyrol, Polycarbonat, Polyacrylat, Polyurethan oder Mischungen oder Hybridmaterialien daraus aufweisen oder sein. Besonders bevorzugt können zumindest für bestimmte

Anwendungen Siloxane oder Epoxide sein. Beispielsweise kann ein Kunststoff bevorzugt sein, wenn er nicht absorbierend bei der vom Licht emittierenden Halbleiterchip erzeugten Wellenlänge ist, etwa Siloxane in Verbindung mit blau emittierenden Halbleiterchips. In Verbindung mit längerwellig emittierenden Halbleiterchips, beispielsweise rot emittierenden Halbleiterchips, können somit Kunststoffe verwendet werden, die in Verbindung mit kürzer emittierenden Halbleiterchips, beispielsweise blau emittierenden Halbleiterchips aus Absorptionsgründen nicht verwendet werden können.

Weiterhin kann die Auskoppelschicht einen zweiten Brechungsindex aufweisen. Der zweite Brechungsindex kann ebenfalls eine Temperaturabhängigkeit aufweisen, wobei diese Temperaturabhängigkeit wesentlich kleiner, beispielsweise um mindestens einen Faktor 10 kleiner, als die Temperaturabhängigkeit des ersten Brechungsindex ist. Mit anderen Worten ändert sich der zweite Brechungsindex bei sich ändernder Temperatur weniger stark als der erste Brechungsindex. Insbesondere kann der zweite Brechungsindex zumindest in Bezug auf die Größenordnung eine ähnliche Temperaturabhängigkeit aufweisen wie die Brechungsindices des Halbleitermaterials der Halbleiterschichtenfolge.

Die Abdeckschicht kann insbesondere ein anorganisches Material aufweisen. Besonders bevorzugt kann die Abdeckschicht ein Oxid und/oder Fluorid, beispielsweise MgF_2, SiO_2 und/oder Al_2O_3, oder ein Glas oder eine Kombination daraus aufweisen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind das Abdeckmaterial und die Auskoppelschicht derart ausgebildet, dass bei

Raumtemperatur der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex ist. Beispielsweise können sich der erste und zweite Brechungsindex bei Raumtemperatur um mindestens 1% bezogen auf den ersten Brechungsindex unterscheiden. Das kann bedeuten, dass die Differenz des ersten und zweiten Brechungsindex, dividiert durch den ersten Brechungsindex, größer oder gleich 1% ist. Besonders bevorzugt können sich der erste und zweite Brechungsindex bei Raumtemperatur um mindestens 2% oder um mindestens 2,5% oder um mindestens 3% bezogen auf den ersten Brechungsindex unterscheiden. Weiterhin können sich der erste und zweite Brechungsindex um mindestens 0,01 oder um mindestens 0,02 oder um mindestens 0,03 oder um mindestens 0,04 unterscheiden.

Mit steigender Temperatur kann eine Differenz zwischen dem ersten und zweiten Brechungsindex abnehmen. Dies kann insbesondere durch die beschriebenen unterschiedlichen Temperaturabhängigkeiten des ersten und zweiten Brechungsindex bewirkt werden. Insbesondere kann die Differenz zwischen dem ersten Brechungsindex und dem zweiten Brechungsindex bei Raumtemperatur größer als bei einer maximalen Betriebstemperatur sein. Die maximale Betriebstemperatur kann beispielsweise in einem Bereich von größer oder gleich 100°C und kleiner oder gleich 150°C liegen und derjenigen Temperatur entsprechen, die der Licht emittierende Halbleiterchip im Licht emittierenden Halbleiterbauelement üblicherweise im Betrieb aufweist oder bis zu der das Licht emittierende Halbleiterbauelement spezifiziert ist. Der erste und zweite Brechungsindex können bevorzugt bei der maximalen Betriebstemperatur im Wesentlichen gleich sein, also bevorzugt um kleiner oder gleich 0,5% oder um kleiner oder gleich 0,1%, bezogen auf den ersten Brechungsindex, voneinander abweichen oder auch im

Wesentlichen genau gleich sein. Alternativ kann der erste Brechungsindex bei der maximalen Betriebstemperatur auch größer als der zweite Brechungsindex sein, wobei der Unterschied zwischen dem ersten und zweiten Brechungsindex wie beschrieben kleiner als bei Raumtemperatur ist. Bei Temperaturangaben kann es sich vorab und im Folgenden bevorzugt um die Temperatur der Auskoppelschicht und des Abdeckmaterials handeln, also zumindest im Wesentlichen um die Temperatur an der Lichtauskoppelfläche.

Insbesondere kann bei einer Verwendung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements bei einem Verfahren zum Betrieb des Halbleiterbauelements das Halbleiterbauelement bevorzugt somit bei einer maximalen Betriebstemperatur betrieben werden, bei der der erste und zweite Brechungsindex im Wesentlichen gleich sind oder der erste Brechungsindex bei der maximalen Betriebstemperatur größer als der zweite Brechungsindex ist.

Im Hinblick auf übliche Halbleitermaterialien weist die Auskoppelschicht einen kleineren Brechungsindex als die Halbleiterschichtenfolge auf, so dass an der Grenzfläche zwischen der Lichtauskoppelfläche und der Auskoppelschicht ab einem kritischen Winkel Totalreflexion stattfindet. Aufgrund der geringen Temperaturabhängigkeit des zweiten Brechungsindex, insbesondere im Verhältnis zum Brechungsindex der Halbleiterschichtenfolge, ändert sich der kritische Winkel und damit der Grad der Totalreflexion nicht oder nur unwesentlich mit einer sich ändernden Temperatur. Bei Raumtemperatur findet an der Grenzfläche zwischen der Auskoppelschicht und dem Abdeckmaterial aufgrund des im Vergleich zum zweiten Brechungsindex größeren ersten Brechungsindex eine Fresnel-Reflexion statt, die mit

steigender Temperatur und damit kleiner werdendem ersten Brechungsindex geringer wird. Im Fall, dass bei der maximalen Betriebstemperatur der erste und zweite Brechungsindex gleich sind, kann die Fresnel-Reflexion sogar ganz verschwinden. Dadurch kann mit steigender Temperatur effektiv mehr Licht von der Auskoppelschicht in das Abdeckmaterial eingekoppelt werden, so dass im Vergleich zu oben beschriebenen üblichen Licht emittierenden Leuchtdiodenchips mit angrenzendem Kunststoffmaterial ein gegenläufiger Effekt erzielt werden kann.

Die beschriebenen Beziehungen des ersten und zweiten Brechungsindex können für den Fall von schmalbandigem Licht als auch für den Fall von breitbandigem Licht gelten. Bei breitbandigem Licht, beispielsweise weißem Licht, können die Brechungsindices bevorzugt in Bezug auf die charakteristische Wellenlänge, also beispielsweise den spektralen Schwerpunkt, optimiert werden. Alternativ oder zusätzlich können die Brechungsindices derart eingestellt werden, dass sichergestellt ist, dass für keine Wellenlänge des emittierten Spektrums und für keine Temperatur, bei der das Licht emittierende Halbleiterbauelement betrieben wird, der Brechungsindex des Abdeckmaterials kleiner als der Brechungsindex der Auskoppelschicht ist. In besondere Fällen, wenn sich die Dispersion des Abdeckmaterials und die Dispersion der Auskoppelschicht sehr deutlich unterscheiden, könnte insbesondere die letztgenannte Alternative vorteilhaft sein, um Totalreflektion bei gewissen Wellenlängen zu vermeiden.

Das Material der dielektrischen Auskoppelschicht und das Abdeckmaterial, also insbesondere der Kunststoff des Abdeckmaterials, sind somit bevorzugt derart auszuwählen,

dass die beschriebenen Brechungsindexverhältnisse erfüllt sind. Beispielsweise können folgende erste Brechungsindices n_1 und zweite Brechungsindices n_2 und/oder Materialien der Auskoppelschicht in Kombination vorteilhaft sein:

- für Kunststoffe in einem Bereich mit $1,41 \leq n_1 \leq 1,43$, beispielsweise mit oder aus Silikonen mit ausschließlich oder überwiegend Methylgruppen, ein dielektrisches Auskoppelmaterial mit $n_2 = 1,38$, beispielsweise MgF_2;
- für Kunststoffe in einem Bereich mit etwa $1,49 \leq n_1 \leq 1,51$, beispielsweise mit oder aus Silikonen mit Methyl- und Phenylgruppen, ein dielektrisches Auskoppelmaterial mit etwa $n_2 = 1,46$, beispielsweise SiO_2;
- für Kunststoffe mit n_1 im Bereich von etwa 1,55, beispielsweise mit oder aus Silikonen mit einem hohen Anteil an Phenylgruppen, ein dielektrisches Auskoppelmaterial mit etwa $n_2 = 1,5$, beispielsweise gesputtertes Glas;
- für Kunststoffe mit etwa $1,55 \leq n_1 \leq 1,7$ ein dielektrisches Auskoppelmaterial ausgewählt aus einem Glas;
- für Kunststoffe mit n_1 im Bereich von etwa 1,7 ein dielektrisches Auskoppelmaterial in Form eines Glases oder mit oder aus Al_2O_3, das mit einem zweiten Brechungsindex von bis zu etwa $n_2 = 1,65$ abhängig von den Aufbringkonditionen hergestellt werden kann.

Kunststoffe mit Brechungsindices von mindestens 1,55 können mit oder aus Silikonen, also Polysiloxanen, mit einem hohem Anteil an Phenylgruppen sein, und/oder mit oder aus Polymeren mit einem hohen Füllgrad von hochbrechenden Nanopartikeln, die den Brechungsindex erhöhen ohne eine Streuung zu verursachen. Hierfür werden bevorzugt Nanopartikel verwendet, die sehr klein sind, typischerweise mit einem Durchmesser oder einer Korngröße von kleiner oder gleich 10 nm.

Insbesondere können Nanopartikel mit oder aus einem oder mehreren Materialien ausgewählt aus ZrO2, TiO2, ZnSe, GaP und/oder anderen Materialien verwendet werden. Auch in Bezug auf die Nanopartikel kann die Absorption von Licht eine Rolle in der Auswahl des geeigneten Materials spielen. So können beispielsweise Nanopartikel aus ZnSe und aus GaP blaues Licht absorbieren und damit in Kombination mit blau emittierenden Halbleiterchips eher ungeeignet sein, während sie für längerwellig emittierende Halbleiterchips wie beispielsweise rot oder infrarot emittierende Halbleiterchips verwendet werden können. Beispielsweise kann es möglich sein, mit Nanopartikeln aus ZrO_2 mit einem Brechungsindex von 2.15 für blaues Licht und einem Durchmesser von weniger als 10 nm in einem Epoxid oder Silikon einen Brechungsindex des Abdeckmaterials von bis zu 1,7 oder sogar mehr zu erreichen. Je nach Material und Füllgrad lässt sich stufenlos ein Brechungsindex einstellen, bis der maximale Füllgrad erreicht ist, und der erreichte Brechungsindex ungefähr dem Mittelwert von Polymer und Nanopartikel entsprechen kann.

Das Abdeckmaterial kann ein Funktionselement bilden, das über dem Licht emittierenden Halbleiterchip angeordnet ist und eine gewünschte Funktionalität aufweist. Beispielsweise kann das Abdeckmaterial ein Verguss sein, beispielsweise in einer Gehäusevertiefung, in der der Licht emittierende Halbleiterchip montiert ist. Beispielsweise kann das Abdeckmaterial auch eine Verkapselung, beispielsweise gegen schädigende Stoffe aus der Umgebung, bilden. Alternativ oder zusätzlich kann das Abdeckmaterial eine optische Funktionalität bereitstellen. Beispielsweise kann das Abdeckmaterial als optisches Element wie eine Linse ausgeformt sein, die unmittelbar auf dem Licht emittierenden Halbleiterchip und insbesondere unmittelbar auf der

Auskoppelschicht angeordnet ist. Darüber hinaus kann das Abdeckmaterial eine Wellenlängenkonversionsschicht bilden und im Kunststoff zumindest einen Wellenlängenkonversionsstoff aufweisen. Weiterhin kann es auch möglich sein, dass das Abdeckmaterial eine Verbindungsschicht zu einem Wellenlängenkonversionselement oder einem optischen Element wie einer Linse bildet. Entsprechend der gewünschten Funktionalität kann das Abdeckmaterial zusätzlich zum transparenten Kunststoff noch weitere Materialien enthalten.

Bei dem hier beschriebenen Licht emittierenden Halbleiterbauelement wird somit die Änderung des Brechungsindex des Abdeckmaterials und insbesondere des Kunststoffs des Abdeckmaterials im Verhältnis zum Brechungsindex der Auskoppelschicht genutzt, um in Abhängigkeit von der Temperatur des Licht emittierenden Halbleiterbauelements, die insbesondere die Betriebstemperatur sein kann, den Anteil des in das Abdeckmaterial eingekoppelten Lichts in gewünschter Weise zu variieren. Insbesondere kann erreicht werden, dass die temperaturabhängige Änderung des vom Licht emittierenden Halbleiterbauelement abgestrahlten Lichts reduziert wird.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform kann zur Herstellung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements eine vorab beschriebene Halbleiterschichtenfolge bereitgestellt werden, die besonders bevorzugt eine Oberflächenstruktur, insbesondere eine Aufrauhung, auf der Lichtauskoppelfläche aufweist. Darüber hinaus können noch weitere Schichten und Materialien zur Herstellung eines Licht emittierenden Halbleiterchips an und/oder in der Halbleiterschichtenfolge vorhanden sein.

Auf der Lichtauskoppelfläche kann eine dielektrische Auskoppelschicht mit oder aus einem transparenten Material, insbesondere einem anorganischen Material, direkt aufgebracht werden. Bevorzugt kann die Auskoppelschicht die Oberflächenstruktur um mindestens eine Dicke überragen, die mindestens einer Wellenlänge des im Betrieb erzeugten Lichts entspricht, beispielsweise einer Dicke von mindestens 500 nm. Das kann bedeuten, dass unmittelbar nach dem Aufbringen des Materials der Auskoppelschicht der niedrigste Punkt der der Halbleiterschichtenfolge gegenüber liegenden Seite des Materials der Auskoppelschicht um mindestens die genannte Dicke höher liegt als der höchste Punkt der Lichtauskoppelfläche. Durch Polieren kann die der Halbleiterschichtenfolge gegenüber liegende Seite geglättet werden, so dass die Auskoppelschicht der Lichtauskoppelfläche gegenüber liegend eine glatte Oberfläche aufweist.

Auf den Licht emittierenden Halbleiterchip und insbesondere auf die Auskoppelschicht wird das Abdeckmaterial aufgebracht. Das Abdeckmaterial weist wie vorab beschrieben zumindest einen transparenten Kunststoff auf, der im Hinblick auf die Auskoppelschicht derart gewählt ist, dass das Abdeckmaterial bei Raumtemperatur einen höheren Brechungsindex aufweist. Die Brechungsindices der Auskoppelschicht und des Abdeckmaterials sollten wie oben beschrieben in Bezug auf die Wellenlänge des erzeugten Lichts insbesondere so gewählt werden, dass sie bei einer maximalen Betriebstemperatur gleich oder im Wesentlichen gleich sind. Alternativ kann der Brechungsindex des Abdeckmaterials auch bei der maximalen Betriebstemperatur noch größer als der Brechungsindex der Auskoppelschicht sein.

Ein Vorteil des hier beschriebenen Halbleiterbauelements kann darin liegen, dass bei Temperaturänderungen die Lichtemission

im Hinblick auf die Helligkeit und die Farbe stabiler ist als im Fall eines herkömmlichen vergleichbaren Halbleiterbauelements ohne die Auskoppelschicht, da die Lichtauskopplung aus der Halbleiterschichtenfolge primär durch die Brechungsindices der Halbleiterschichtenfolge und der Auskoppelschicht gegeben ist, die temperaturstabiler als ein Kunststoffmaterial sind. Obwohl der Kunststoff mit der hohen Temperaturabhängigkeit in Bezug auf den Brechungsindex immer noch vorhanden ist, kann dieser keine sich mit der Temperatur verändernde Totalreflektion bewirken, da der Brechungsindex des Abdeckmaterials größer als der der Auskoppelschicht ist. Insbesondere kann das Abdeckmaterial aufgrund der beschriebenen Wirkung in Kombination mit der Auskoppelschicht im Vergleich zum Stand der Technik frei von Streupartikeln oder sonstigen Streumaßnahmen sein.

Ein weiterer Vorteil kann in einer verbesserten Wärmeableitung aus einem Wellenlängenkonversionselement liegen, da die Menge an Kunststoff einer Verbindungsschicht, beispielsweise aus Silikon, zwischen dem Wellenlängenkonversionselement und dem Licht emittierenden Halbleiterchip reduziert werden kann und anstelle eines Teils des Kunststoffs die Auskoppelschicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit vorhanden ist. Beispielsweise kann die Wärmeleitfähigkeit der Auskoppelschicht im Bereich zwischen 1 W/mK und 5 W/mK anstelle von 0,15 W/mK für Silikon liegen. Dadurch kann das sogenannte thermische Quenchen des Wellenlängenkonversionselements reduziert werden, wodurch die Helligkeitsstabilität in Abhängigkeit von der Temperatur für ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement mit sogenannter Abwärtskonversion weiter verbessert werden kann. Die kleinere Menge an Kunststoffmaterial kann beispielsweise insbesondere im Fall von Silikon außerdem die Lebensdauer verbessern, da

Silikone üblicherweise mit der Zeit degradieren. Je weniger Silikon vorhanden ist, desto weniger spielen solche Alterungseffekte eine Rolle. Durch die niedrigere Temperatur des Wellenlängenkonversionselements kann zusätzlich eine Alterung des Silikons reduziert werden.

Das hier beschriebene Halbleiterbauelement kann insbesondere als eine oder mehrere der im Folgenden genannten Anwendungen oder zumindest als Teil davon ausgebildet sein. Insbesondere kann eine der im Folgenden genannten Vorrichtungen zumindest ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement aufweisen. Beispielsweise kann das Licht emittierende Halbleiterbauelement in einem Scheinwerfer verwendet werden. Bei in Scheinwerfern verwendeten Wellenlängenkonversionsstoffen oder Wellenlängenkonversionselementen kann beispielsweise die Temperaturabhängigkeit relativ stark ausgeprägt sein. Da Scheinwerfer in einem großen Temperaturbereich betrieben werden und stark beansprucht werden, kann das hier beschriebene Licht emittierende Halbleiterbauelement besonders vorteilhaft sein. Weiterhin kann das Licht emittierende Halbleiterbauelement für ein Blitzlicht verwendet werden. Darüber hinaus kann das Licht emittierende Halbleiterbauelement für Leuchten für Straßenbeleuchtungen und/oder Gewächshausbeleuchtungen verwendet werden. Beispielsweise bei Scheinwerfern und Straßenleuchten kann eine temperaturabhängige Farbveränderung als störend empfunden werden, die durch das hier beschriebene Licht emittierende Halbleiterbauelement reduziert werden kann. Weiterhin kann es auch gesetzliche Regeln für den Farbort geben, der eingehalten werden muss.

Weitere Vorteile, vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Figuren 1A bis 1E schematische Darstellungen von Verfahrensschritten eines Verfahren zur Herstellung eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements sowie ein Licht emittierendes Halbleiterbauelement gemäß einem Ausführungsbeispiel,

Figuren 2A und 2B schematische Darstellungen von Licht emittierenden Halbleiterbauelementen gemäß weiteren Ausführungsbeispielen,

Figuren 3A und 3B schematische Darstellungen eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel und

Figuren 4A und 4B Temperaturabhängigkeiten des abgestrahlten Lichts von Halbleiterbauelementen bei deren Verwendung in Verfahren zum Betrieb der Halbleiterbauelemente gemäß weiteren Ausführungsbeispielen.

In den Ausführungsbeispielen und Figuren können gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen sein. Die dargestellten Elemente und deren Größenverhältnisse untereinander sind nicht als maßstabsgerecht anzusehen, vielmehr können einzelne Elemente, wie zum Beispiel Schichten, Bauteile, Bauelemente

und Bereiche, zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

In den Figuren 1A bis 1E sind schematische Darstellungen von Verfahrensschritten eines Verfahren zur Herstellung eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements 101 sowie das Licht emittierende Halbleiterbauelement 101 gemäß einem Ausführungsbeispiel gezeigt. Zur Herstellung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements 101, das in Figur 1E gezeigt ist, wird ein Licht emittierender Halbleiterchip 100, der in Figur 1D gezeigt ist, mittels der in Verbindung mit den Figuren 1A bis 1D beschriebenen Verfahrensschritten bereitgestellt.

Wie in Figur 1A dargestellt ist, wird in einem ersten Verfahrensschritt eine Halbleiterschichtenfolge 1 hergestellt. Die Herstellung der Halbleiterschichtenfolge 1 erfolgt insbesondere im Waferverbund. Insbesondere kann die Halbleiterschichtenfolge 1 in Form einer Mehrzahl von Halbleiterschichten mittels eines Epitaxieverfahrens, beispielsweise metallorgansicher Gasphasenepitaxie (MOVPE) oder Molekularstrahlepitaxie (MBE), auf einem Aufwachssubstrat aufgewachsen und mit elektrischen Kontakten sowie je nach Ausführungsform zusätzlich mit Passivierungsschichten versehen werden. Weiterhin kann die Halbleiterschichtenfolge auch auf ein Trägersubstrat übertragen werden und das Aufwachssubstrat kann gedünnt oder ganz entfernt werden. Derartige Halbleiterchips, die als Substrat ein Trägersubstrat anstelle des Aufwachssubstrats aufweisen, können auch als so genannte Dünnfilm-Halbleiterchips bezeichnet werden. Insbesondere kann die Halbleiterschichtenfolge 1 wie im allgemeinen Teil beschrieben ausgebildet werden. Je nach gewünschter

Wellenlänge des vom Licht emittierenden Halbleiterchip in einer aktiven Schicht zu erzeugenden Lichts kann ein oben im allgemeinen Teil beschriebenes Halbleitermaterial verwendet werden. Die einzelnen Halbleiterschichten, elektrischen Kontakte, das Substrat sowie mögliche weitere Schichten wie etwa Passivierungsschichten sind der Übersichtlichkeit hier und im Folgenden nicht gezeigt.

Die Halbleiterschichtenfolge 1 weist eine Lichtauskoppelseite mit einer Lichtauskoppelfläche 10 auf, über die das im Betrieb erzeugte Licht aus der Halbleiterschichtenfolge 1 in ein angrenzendes Material ausgekoppelt werden kann. Die Lichtauskoppelfläche 10 ist wie gezeigt besonders bevorzugt eine Hauptoberfläche der Halbleiterschichtenfolge 1, die senkrecht zur Aufwachsrichtung der Halbleiterschichtenfolge mit einer Haupterstreckungsebene in lateraler Richtung angeordnet sein kann.

Die Lichtauskoppelfläche 10 weist eine Oberflächenstruktur 11 auf. Die Oberflächenstruktur 11 kann durch eine regelmäßige oder unregelmäßige Abfolge von Erhebungen und Vertiefungen in der Lichtauskoppelfläche 10 gebildet sein. Die Erhebungen und/oder Vertiefungen können gleich oder verschieden sein und beispielsweise zumindest teilweise pyramidenförmig und/oder kegelförmig wie im allgemeinen Teil beschrieben ausgebildet sein. Rein beispielhaft ist die Oberflächenstruktur 11 mit pyramidenstumpfförmigen oder kegelstumpfförmigen unregelmäßigen Erhebungen gezeigt. Die Oberflächenstruktur 11 kann beispielsweise durch Ätzen oder mechanisches Aufrauen der Lichtauskoppelfläche herstellbar sein.

Weiterhin kann auf der Halbleiterschichtenfolge 1 eine Passivierungsschicht (nicht gezeigt) aufgebracht sein. Im

Fall eines AlInGaP-basierten Halbleitermaterials kann die Passivierungsschicht beispielsweise mit oder aus Si_3N_4 sein. Im Fall einer Passivierungsschicht auf der Lichtauskoppelseite der Halbleiterschichtenfolge wird die Lichtauskoppelfläche 10 der Halbleiterschichtenfolge 1 durch die Passivierungsschicht gebildet. Die Passivierungsschicht kann derart dünn sein, dass die Passivierungsschicht im Wesentlichen der Oberflächenstruktur in der Halbleiterschichtenfolge 1 folgt und diese somit konform bedeckt. Weiterhin kann es auch möglich sein, dass die Oberflächenstruktur 11 zumindest teilweise in der Passivierungsschicht ausgebildet ist.

Im Rahmen eines üblichen Herstellungsverfahrens würde der Wafer mit der Halbleiterschichtenfolge zur Herstellung von Leuchtdiodenchips nun vereinzelt werden. Die Halbleiterchips könnten dann beispielsweise in eine Gehäuse montiert und kontaktiert werden und würden üblicherweise mit eine Kunststoffmaterial, typischerweise Silikon, bedeckt werden, so dass in einem Leuchtdiodenchip erzeugtes Licht von der Lichtauskoppelfläche in das Kunststoffmaterial ausgekoppelt würde. Aufgrund des hohen Brechungsindex des Halbleitermaterials der Halbleiterschichtenfolge im Vergleich zum Brechungsindex des Kunststoffmaterials würde an der Grenzfläche zwischen diesen Materialien für bestimmte Winkel Totalreflexion stattfinden. Wie im allgemeinen Teil beschrieben ist, wird der Brechungsindex von Silikon mit steigender Temperatur geringer, typischerweise von 1,42 bei 25°C zu 1,38 bei 125°C. Im Vergleich dazu ändert sich der Brechungsindex des Halbleitermaterials um mindestens eine Größenordnung weniger, im Fall von GaN beispielsweise von 2,4 bei 25°C auf mehr als 2,395 bei 125°C. Entsprechend verringert sich die Lichtextraktion aus der

Lichtauskoppelfläche in das Kunststoffmaterial mit steigernder Temperatur. Beispielsweise kann bei einem AlInGaP-basierten Leuchtdiodenchip mit einer unmittelbar darauf aufgebrachten Silikonlinse die Lichtextraktion vom Halbleitermaterial mit einem typischen Brechungsindex von etwa 3,5 in das Silikon der wesentliche begrenzende Faktor betreffend die Lichtauskopplung sein. Durch Verwendung eines höherbrechenden Silikons mit einem Brechungsindex von 1,54 anstelle von 1,42 könnte bei Raumtemperatur eine Helligkeitssteigerung von etwa 10% erreicht werden. Die temperaturabhängige Reduktion des Brechungsindex des Silikons hingegen kann in einen Helligkeitsverlust von etwa 3 bis 5% resultieren.

Beim hier beschriebenen Verfahren wird, wie in Figur 1B gezeigt ist, anders als bei üblichen Herstellungsverfahren eine Auskoppelschicht 2 unmittelbar auf der Lichtauskoppelfläche 10 aufgebracht. Die Auskoppelschicht 2 weist ein transparentes dielektrische Material, insbesondere ein anorganisches Material auf, das mittels einer Dünnschicht-Abscheidemethode, beispielsweise mittels Sputtern, Aufdampfen oder chemischer Gasphasenabscheidung, auf der Oberflächenstruktur 11 derart aufgebracht wird, dass die Oberflächenstruktur 11 bevorzugt komplett gefüllt wird. Das Material der Auskoppelschicht 2 weist insbesondere einen hier und im Folgenden als zweiten Brechungsindex bezeichneten Brechungsindex auf, der bei Raumtemperatur kleiner als der Brechungsindex der Halbleiterschichtenfolge 1 ist. Weiterhin ist das Material der Auskoppelschicht 2 aus einem anderen Materialsystem als das Halbleitermaterial der Halbleiterschichtenfolge 1. Insbesondere kann das Material der Auskoppelschicht 2 ein Oxid und/oder Fluorid, beispielsweise Magnesiumfluorid und/oder Siliziumdioxid,

aufweisen oder daraus sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Auskoppelschicht 2 ein Glas mit einem geeigneten Brechungsindex aufweisen oder daraus sein. Die Auskoppelschicht 2 kann beispielsweise auch als Passivierungsschicht wirken, so dass es auch möglich sein kann, dass keine zusätzliche Passivierungsschicht auf der Lichtauskoppelseite vorhanden ist.

Die Auskoppelschicht 2 wird mit einer derart großen Dicke aufgebracht, dass die Auskoppelschicht 2, wie in Figur 1B zu erkennen ist, die Oberflächenstruktur 11 überragt. Somit weist die Auskoppelschicht 2 eine Dicke auf, die so groß ist, dass die Oberflächenstruktur 11 vollständig von der Auskoppelschicht 2 bedeckt ist. In Bezug auf die vertikale Richtung ist der tiefste Punkt der der Halbleiterschichtenfolge 1 abgewandten Seite der Auskoppelschicht 2 dabei besonders bevorzugt höher, insbesondere um einen der im Folgenden genannten Werte höher, als der höchste Punkt der Oberflächenstruktur 11. Besonders bevorzugt kann die Auskoppelschicht 2 die Oberflächenstruktur 11 um eine Dicke überragen, die mindestens so groß wie die Wellenlänge des vom Licht emittierenden Halbleiterchip 100 im Betrieb erzeugten Lichts ist. Beispielsweise kann die Auskoppelschicht 2 die Oberflächenstruktur 11 um mindestens 500 nm überragen.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird die der Halbleiterschichtenfolge 1 und damit der Lichtauskoppelfläche 10 mit der Oberflächenstruktur 11 abgewandte Oberfläche 20 der Auskoppelschicht 2 geglättet, so dass die Oberfläche 20 glatt ist. Hierzu kann insbesondere ein chemisches oder mechanisches Polierverfahren oder ein sogenanntes CMP-Verfahren (CMP: „chemical-mechnical polishing", chemisch-

mechanisches Polieren) verwendet werden. Die Oberflächenstruktur 11 kann somit durch die Auskoppelschicht 2 planarisiert sein, wobei die Auskoppelschicht 2 einer der Halbleiterschichtenfolge 1 und damit der Lichtauskoppelfläche 10 gegenüber liegenden Seite die glatte Oberfläche 20 aufweist. Nach dem Glätten weist die Auskoppelschicht 2 immer noch eine gewisse Dicke auf, um die die Auskoppelschicht 2 die Oberflächenstruktur 11 überragt, besonders bevorzugt um einen der vorgenannten Werte.

In weiteren Verfahrensschritten wird der Wafer mit der Halbleiterschichtenfolge 1 und der Auskoppelschicht 2 im Hinblick auf die herzustellenden Licht emittierenden Halbleiterchips 100 fertiggestellt und in die Licht emittierenden Halbleiterchips 100, von denen einer in Figur 1D angedeutet ist, vereinzelt. Die Licht emittierenden Halbleiterchips 100 können im Rahmen der Herstellung von Licht emittierenden Halbleiterbauelementen in weiteren nicht gezeigten Verfahrensschritten jeweils auf einem Träger oder in einem Gehäuse montiert und kontaktiert werden.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird zumindest teilweise auf dem montierten Licht emittierenden Halbleiterchip 100 ein Abdeckmaterial 3 aufgebracht. Wie in Figur 1E angedeutet ist, wird das Abdeckmaterial 3 insbesondere auf der Oberfläche 20 der Auskoppelschicht 2 aufgebracht. Darüber hinaus kann es auch möglich sein, dass das Abdeckmaterial 3 zusätzlich neben dem Halbleiterchip 100, also insbesondere angrenzend an dessen Seitenflächen, aufgebracht wird. Das Abdeckmaterial 3 weist einen transparenten Kunststoff auf oder ist daraus. Im gezeigten Ausführungsbeispiel kann das Abdeckmaterial 3 insbesondere einen Verguss und/oder eine Verkapselung und/oder ein durch ein Formverfahren aufgebrachtes optisches

Element wie etwa eine Linse für den Licht emittierenden Halbleiterchip 100 bilden. Hierzu kann das Abdeckmaterial 3 aus dem transparenten Kunststoff oder zumindest im Wesentlichen aus dem transparenten Kunststoff gebildet sein. Weiterhin kann das Abdeckmaterial 3 auch eine Wellenlängenkonversionsschicht bilden, so dass im transparenten Kunststoff zumindest ein Wellenlängenkonversionsstoff enthalten sein kann, der zumindest einen Teil des von Licht emittierenden Halbleiterchip 100 im Betrieb erzeugten Lichts in Licht mit einer anderen Wellenlänge umwandeln kann. In diesem Fall, bei dem die durch das Abdeckmaterial gebildete Wellenlängenkonversionsschicht direkt und ohne zusätzliche Klebeschicht auf dem Licht emittierenden Halbleiterchip aufgebracht ist, kann die Wellenlängenkonversionsschicht gleichzeitig eine Verkapselung bilden.

Das Abdeckmaterial 3 und insbesondere der transparente Kunststoff des Abdeckmaterials 3 kann eines oder mehrere der folgenden Materialien aufweisen oder daraus sein: Siloxane, Epoxide, Acrylate, Methylmethacrylate, Imide, Carbonate, Olefine, Styrole, Urethane oder Derivate davon in Form von Monomeren, Oligomeren oder Polymeren und weiterhin auch Mischungen, Copolymere oder Verbindungen damit. Beispielsweise kann der Kunststoff des Abdeckmaterials 3 Silikon, Epoxidharz, Polymethylmethacrylat (PMMA), Polystyrol, Polycarbonat, Polyacrylat, Polyurethan oder Mischungen oder Hybridmaterialien daraus aufweisen oder sein.

Mit dem Aufbringen des Abdeckmaterials 3 kann das Licht emittierende Halbleiterbauelement 101 fertiggestellt sein. Alternativ können auch noch weitere Verfahrensschritte zu Fertigstellung des Halbleiterbauelements 101 durchgeführt

werden. Beispielsweise kann einer Mehrzahl von Trägern oder Gehäusen in einem Verbund bereitgestellt werden, für die die beschriebenen Schritte im Verbund durchgeführt werden. Anschließend kann ein Vereinzeln des Träger- oder Gehäuseverbunds in einzelne Licht emittierende Halbleiterbauelemente 101 erfolgen.

In den Figuren 2A und 2B sind weitere Ausführungsbeispiele für Licht emittierende Halbleiterbauelemente 101 gezeigt, bei denen das Abdeckmaterial 3 jeweils eine Verbindungsschicht, insbesondere in Form einer Klebstoffschicht, zwischen dem Licht emittierenden Halbleiterchip 100 und einem weiteren Element bildet. Gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2A kann mittels des Abdeckmaterials 3 als Verbindungsschicht beispielsweise ein Wellenlängenkonversionselement 4 aufgebracht werden. Das Wellenlängenkonversionselement 4 kann ein separat hergestelltes Element sein, beispielsweise in Form eines Keramik- oder Kunststoffplättchens, das zumindest einen Wellenlängenkonversionsstoff enthält oder daraus gebildet wird. Weiterhin kann das optische Element, wie in Figur 2B gezeigt ist, auch ein optisches Element 5 wie beispielsweise eine Linse sein, das mittels des Abdeckmaterials 3 auf dem Licht emittierenden Halbleiterchip 100 und insbesondere auf der Oberfläche 20 der Auskoppelschicht 2 befestigt wird.

Wie in den Ausführungsbeispielen der Figuren 1A bis 2B gezeigt ist, wird das Abdeckmaterial 3 insbesondere in direktem Kontakt mit der transparenten Auskoppelschicht 2 des Licht emittierenden Halbleiterchips 100 angeordnet. Das kann insbesondere bedeuten, dass das Abdeckmaterial 3 und damit der transparente Kunststoff unmittelbar auf der der Lichtauskoppelfläche 10 abgewandten Oberfläche 20 der

Auskoppelschicht 2 angeordnet ist, so dass in der Halbleiterschichtenfolge 1 im Betrieb des Licht emittierenden Halbleiterchips 100 erzeugtes Licht, das von der Lichtauskoppelfläche 10 in die Auskoppelschicht 2 eingekoppelt wird, zumindest über die der Halbleiterschichtenfolge 1 gegenüber liegende Oberfläche 20 der Auskoppelschicht 2 direkt in das Abdeckmaterial 3 eingekoppelt werden kann. Die Einkopplung von Licht von der Lichtauskoppelfläche 10 in die Auskoppelschicht 2 und von der Auskoppelschicht 2 in das Abdeckmaterial 3 und damit in den Kunststoff des Abdeckmaterials 3 erfolgt abhängig von den jeweiligen Brechungsindices und Brechungsindexunterschieden, wie im Folgenden in Verbindung mit den Figuren 3A und 3B näher erläutert wird. Rein beispielhaft ist in den Figuren 3A und 3B das Licht emittierende Halbleiterbauelement 101 gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figuren 1A bis 1E gezeigt. Die nachfolgende Beschreibung gilt aber gleichermaßen für die anderen Ausführungsbeispiele.

Das Abdeckmaterial 3 und insbesondere der transparente Kunststoff des Abdeckmaterials 3 weist einen temperaturabhängigen ersten Brechungsindex auf. Insbesondere weist der erste Brechungsindex eine derartige Temperaturabhängigkeit auf, dass der erste Brechungsindex mit steigender Temperatur kleiner wird. Die Auskoppelschicht 2 weist wie weiter oben beschrieben einen zweiten Brechungsindex auf. Der zweite Brechungsindex kann ebenfalls eine Temperaturabhängigkeit aufweisen, wobei diese Temperaturabhängigkeit wesentlich kleiner, beispielsweise um mindestens einen Faktor 10 kleiner, als die Temperaturabhängigkeit des ersten Brechungsindex ist. Somit ändert sich der zweite Brechungsindex bei sich ändernder Temperatur weniger stark als der erste Brechungsindex.

Insbesondere kann der zweite Brechungsindex zumindest in Bezug auf die Größenordnung eine ähnliche Temperaturabhängigkeit aufweisen wie die Brechungsindices des Halbleitermaterials der Halbleiterschichtenfolge.

Insbesondere sind das Abdeckmaterial 4 und die Auskoppelschicht 3 derart ausgebildet, dass bei Raumtemperatur der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex ist. Beispielsweise können sich der erste und zweite Brechungsindex bei Raumtemperatur um mindestens 1% bezogen auf den ersten Brechungsindex unterscheiden. Besonders bevorzugt können sich der erste und zweite Brechungsindex bei Raumtemperatur um mindestens 2% oder um mindestens 2,5% oder um mindestens 3% bezogen auf den ersten Brechungsindex unterscheiden. Weiterhin können sich der erste und zweite Brechungsindex bei Raumtemperatur um mindestens 0,01 oder um mindestens 0,02 oder um mindestens 0,03 oder um mindestens 0,04 unterscheiden. Mit steigender Temperatur kann eine Differenz zwischen dem ersten und zweiten Brechungsindex abnehmen. Dies kann insbesondere eine Folge der beschriebenen unterschiedlichen Temperaturabhängigkeiten des ersten und zweiten Brechungsindex sein. Insbesondere kann die Differenz zwischen dem ersten Brechungsindex und dem zweiten Brechungsindex bei Raumtemperatur größer als bei einer maximalen Betriebstemperatur sein. Die maximale Betriebstemperatur kann beispielsweise in einem Bereich von größer oder gleich 100°C und kleiner oder gleich 150°C liegen und derjenigen Temperatur entsprechen, die der Licht emittierende Halbleiterchip 100 im Licht emittierenden Halbleiterbauelement 101 üblicherweise im Betrieb aufweist oder bis zu der das Licht emittierende Halbleiterbauelement 101 spezifiziert ist. Der erste und zweite Brechungsindex können bevorzugt bei der maximalen Betriebstemperatur im Wesentlichen gleich sein, also bevorzugt um kleiner oder

gleich 0,5% oder um kleiner oder gleich 0,1%, bezogen auf den ersten Brechungsindex, voneinander abweichen oder auch im Wesentlichen genau gleich sein.

Rein beispielhaft kann das Abdeckmaterial 3 als transparenten Kunststoff Silikon aufweisen, das bei Raumtemperatur einen ersten Brechungsindex von etwa 1,42 und bei einer maximalen Betriebstemperatur des Licht emittierenden Halbleiterbauelements 101 im Bereich von 100°C bis 150°C, beispielsweise bei 125°C, einen ersten Brechungsindex von etwa 1,38 aufweist. Die Auskoppelschicht 2 kann ein transparentes anorganisches dielektrisches Material aufweisen oder daraus sein, das einen zweiten Brechungsindex aufweist, der bei Raumtemperatur und bei der maximalen Betriebstemperatur zumindest im Wesentlichen 1,38 beträgt. Insbesondere weist die Auskoppelschicht 2 einen zweiten Brechungsindex auf, der kleiner als der Brechungsindex des Halbleitermaterials der Halbleiterschichtenfolge 1 ist. Hierzu kann sich beispielsweise MgF_2 eignen. Die Halbleiterschichtenfolge 1 kann beispielsweise auf einem AlInGaN-Halbleitermaterial basieren, wobei beispielsweise GaN einen Brechungsindex von etwa 2,4 aufweisen kann. Alternativ hierzu können auch andere Materialkombinationen, wie beispielsweise oben im allgemeinen Teil beschrieben ist, gewählt werden, die die beschriebenen Brechungsindexbedingungen erfüllen.

In Figur 3A ist das Licht emittierende Halbleiterbauelement 101 bei Raumtemperatur, also bei einer Temperatur von etwa 25°C, angedeutet. Mittels der Pfeile ist ein beispielhafter Lichtweg von der aktiven Schicht der Halbleiterschichtenfolge 1 durch die Auskoppelschicht 2 in das Abdeckmaterial 3 angedeutet. Die Lichteinkopplung von der

Halbleiterschichtenfolge 1 in die Auskoppelschicht 2 ist aufgrund der beschriebenen Brechungsindices und der daraus folgenden Totalreflexion ab einem bestimmten kritischen Winkel geringer als im Fall einer Lichteinkopplung direkt von der Halbleiterschichtenfolge in das Abdeckmaterial. Zusätzlich findet bei Raumtemperatur an der Grenzfläche zwischen der Auskoppelschicht 2 und dem Abdeckmaterial 3 aufgrund des im Vergleich zum zweiten Brechungsindex größeren ersten Brechungsindex eine Fresnel-Reflexion statt, die durch den gestrichelten Pfeil angedeutet ist. Die Fresnel-Reflexion bewirkt eine weitere Reduktion der Gesamtlichtauskopplung aus dem Licht emittierenden Halbleiterbauelement 101. Im gezeigten Ausführungsbeispiel kann die Lichtauskopplungseffizienz von der Halbleiterschichtenfolge 1 in das Abdeckmaterial 3 bei Raumtemperatur um etwa 2 bis 3% geringer sein im Vergleich zu einem Fall, in dem keine Auskoppelschicht 2 vorhanden ist und das Abdeckmaterial unmittelbar auf der Lichtauskoppelfläche 10 angeordnet ist.

In Figur 3B ist das Licht emittierende Halbleiterbauelement 101 bei einer Betriebstemperatur von etwa 125°C gezeigt. Der erste Brechungsindex beträgt wie oben beschrieben im gezeigten Ausführungsbeispiel 1,38 und ist damit gleich dem zweiten Brechungsindex. Aufgrund der geringen Temperaturabhängigkeit des zweiten Brechungsindex, insbesondere im Verhältnis zum Brechungsindex der Halbleiterschichtenfolge 1, ändert sich der kritische Winkel und damit der Grad der Totalreflexion an der Grenzfläche zwischen der Lichtauskoppelfläche 10 und der Auskoppelschicht 2 nicht oder nur unwesentlich mit einer sich ändernden Temperatur, so dass im Wesentlichen der gleiche relative Lichtanteil von der Halbleiterschichtenfolge 1 in die Auskoppelschicht 2 eingekoppelt wird. Die bei Raumtemperatur

an der Grenzfläche zwischen der Auskoppelschicht 2 und dem Abdeckmaterial 3 stattfindende Fresnel-Reflexion hingegen wird mit steigender Temperatur und damit kleiner werdendem ersten Brechungsindex geringer und verschwindet im gezeigten Fall bei der Betriebstemperatur sogar ganz. Anstelle einer geringer werdenden Lichteinkopplung in das Abdeckmaterial, wie dies der Fall bei Abwesenheit der Auskoppelschicht 2 wäre, kann somit mit steigender Temperatur effektiv ein höherer relativer Anteil von Licht aus der Auskoppelschicht 2 in das Abdeckmaterial 3 eingekoppelt werden, so dass im Vergleich zu oben beschriebenen üblichen Licht emittierenden Leuchtdiodenchips mit unmittelbar an die Lichtauskoppelfläche angrenzendem Kunststoffmaterial ein gegenläufiger Effekt erzielt werden kann. Weiterhin bleibt die Helligkeit bei der Betriebstemperatur im Vergleich zu dem Fall, bei dem keine Auskoppelschicht vorhanden ist, gleich. Mit Vorteil kann bei dem hier beschriebenen Licht emittierenden Halbleiterbauelement somit erreicht werden, dass Licht, das in die Auskoppelschicht eingekoppelt wird, bis auf den durch Fresnelreflexion bewirkten Anteil, unabhängig von der Temperatur auch in das Abdeckmaterial eingekoppelt und aus diesem wieder ausgekoppelt wird. Die Auskopplung aus der Halbleiterschichtenfolge ist hierbei von der Temperaturabhängigkeit zumindest fast komplett befreit, anders als für den Fall einer direkten Auskopplung von der Halbleiterschichtenfolge in einen Kunststoff.

Für den Fall, dass das Abdeckmaterial 3 als Wellenlängenkonversionsschicht ausgebildet ist, kann es zusätzlich erforderlich sein, die Kopplung von Licht vom Abdeckmaterial in die Halbleiterschichtenfolge zu bedenken. Bei einer direkt auf einem Leuchtdiodenchip ohne die Auskoppelschicht aufgebrachten Wellenlängenkonversionsschicht

ändert sich diese Kopplung ebenfalls mit der Temperatur und wird geringer mit steigender Temperatur, was zu einer Änderung der Farbkoordinaten des in die Umgebung abgestrahlten Lichts führen kann. Die Auskoppelschicht 2 kann in diesem Fall auch den hilfreichen Effekt haben, den Farbort zu stabilisieren.

Ein ähnlicher Effekt kann auch im Fall eines Wellenlängenkonversionselements vorliegen, das mittels des eine Verbindungsschicht bildenden Abdeckmaterials 3 auf den Licht emittierenden Halbleiterchip 100 aufgeklebt ist, wie in Verbindung mit dem Ausführungsbeispiel der Figur 2A beschrieben ist. In diesem Fall kann die Totalreflexion zwischen dem Wellenlängenkonversionselement und dem Abdeckmaterial einen wichtigen Einfluss auf den Farbort haben, da sich der Farbort bei Abwesenheit der Auskoppelschicht mit sich änderndem Brechungsindex des Abdeckmaterials verschieben kann. Die beim hier beschriebenen Licht emittierenden Halbleiterbauelement 101 zusätzlich vorhandene niedrigbrechende dielektrische Auskoppelschicht 2 kann durch die unveränderte Totalreflexion die Farbortverschiebung bei Temperaturänderungen im Bereich von der Raumtemperatur zur maximalen Betriebstemperatur signifikant reduzieren.

In Verbindung mit den Figuren 4A und 4B werden die beschriebenen Effekte anhand von Temperaturabhängigkeiten des von Halbleiterbauelementen gemäß weiteren Ausführungsbeispielen abgestrahlten Lichts weiter verdeutlicht. In allen Diagrammen bezieht sich die gestrichelte Linie auf ein Halbleiterbauelement gemäß einem Ausführungsbeispiel, während sich die durchgezogene Linie auf ein Vergleichsbauelement bezieht, das im Wesentlichen

baugleich, jedoch ohne Auskoppelschicht, ausgebildet ist. Die gestrichelten Linien sind dabei auf die durchgezogenen Linien normiert.

In Figur 4A ist im linken Diagramm der relative Lichtstrom eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements und eines Vergleichsbauelements in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur gezeigt, wobei das Licht emittierende Halbleiterbauelement gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2A mit einem mittels des Abdeckmaterials aufgeklebten Wellenlängenkonversionselements ausgebildet ist. Im rechten Diagramm ist die relative Strahlungsleistung eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements und eines Vergleichsbauelements in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur gezeigt, wobei das Licht emittierende Halbleiterbauelement gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2B mit einer mittels des Abdeckmaterials aufgeklebten Linse aus Silikon als optisches Element ausgebildet ist. In beiden Fällen sind die Licht emittierenden Halbleiterchips als blau emittierende InGaN-Chips ausgebildet. In beiden Diagrammen ist erkennbar, dass bei einer Betriebstemperatur von etwa 125°C, hervorgehoben durch die mit B bezeichneten Pfeile, die Helligkeit des Licht emittierenden Halbleiterbauelements und des jeweiligen Vergleichsbauelements im Wesentlichen gleich sind, so dass die Anwesenheit der Auskoppelschicht auf die Helligkeit bei etwa 125°C keinen wesentlichen Einfluss hat.

Man kann weiterhin im linken Diagramm der Figur 4A erkennen, dass der relative Lichtstrom bei einer Betriebstemperatur von 125°C nur 75% des Werts bei Raumtemperatur, hervorgehoben durch die mit A bezeichneten Pfeile, beträgt. Wie im rechten Diagramm zu erkennen ist, beträgt die relative Strahlungsleistung bei einer Betriebstemperatur von 125°C nur

85% des Werts bei Raumtemperatur. Durch die Hinzufügung der Auskoppelschicht kann die relative Änderung des relativen Lichtstroms und der relativen Strahlungsleitung um etwa 2 bis 3% verringert werden, da durch die Auskoppelschicht bei Raumtemperatur weniger Licht aus dem Licht emittierenden Halbleiterbauelement ausgekoppelt wird. Im Fall des Licht emittierenden Halbleiterbauelements des linken Diagramms bedeutet dies somit eine Reduzierung des Lichtstroms bei einer Änderung der Temperatur von Raumtemperatur auf etwa 125°C auf 77% anstelle von 75%, im Fall des Licht emittierenden Halbleiterbauelements des rechten Diagramms eine Reduzierung der Strahlungsleistung bei einer Änderung der Temperatur von Raumtemperatur auf etwa 125°C auf 87% anstelle von 85%, so dass in beiden Fällen durch die Auskoppelschicht die Temperaturstabilität der jeweiligen Helligkeitsgröße signifikant verbessert werden kann, ohne dass die Helligkeit bei der maximalen Betriebstemperatur herabgesetzt wird.

In Figur 4B sind im linken und rechten Diagramm jeweils der relative Lichtstrom eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements und eines Vergleichsbauelements in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur gezeigt, wobei in diesen Fällen der jeweilige Licht emittierende Halbleiterchip als rot emittierender AlInGaP-Chip mit einer Wellenlänge von 612 nm (linkes Diagramm) beziehungsweise von 634 nm (rechts Diagramm) ausgebildet ist. Bei einer Erhöhung von der Raumtemperatur auf eine Betriebstemperatur von 125°C reduziert sich der jeweilige relative Lichtstrom der Vergleichsbauelemente um 31% beziehungsweise um 52%. Dies liegt zum Teil an einer temperaturabhängigen Wellenlängenverschiebung, die Auswirkungen auf die Augenempfindlichkeit hat und die nicht kompensiert werden

kann, und zum Teil an einem Intensitätsverlust bis auf einen Wert von 50% beziehungsweise von 88%, also einem Verlust um 50% beziehungsweise 12%, der mittels der Auskoppelschicht reduziert werden kann. Wie erkennbar ist, kann der relative Lichtstrom in beiden Fällen bei Raumtemperatur um etwa 5% reduziert werden, so dass hieraus nur noch ein Verlust um 45% beziehungsweise 10% resultiert.

Um die beschriebenen Effekte durch die Auskoppelschicht zu erhöhen, kann es vorteilhaft sein, für die Auskoppelschicht ein Material zu verwenden, das auch bei der maximalen Betriebstemperatur eine zweiten Brechungsindex aufweist, der kleiner als der erste Brechungsindex des Abdeckmaterials ist. Dadurch wird im Vergleich zu Vergleichsbauelementen ohne Auskoppelschicht die Helligkeit bei Raumtemperatur durch eine größere Fresnel-Reflexion stärker herabgesetzt, während bei der maximalen Betriebstemperatur auch noch Verluste durch die beschriebene Fresnel-Reflexion vorhanden sind. Jedoch kann der Effekt größer als die vorab beschriebenen 2 bis 3% in Bezug auf den Temperaturbereich zwischen der Raumtemperatur und der maximalen Betriebstemperatur sein. Dies kann beispielsweise vorteilhaft für Anwendungen sein, bei denen die Helligkeitsstabilität wichtiger als die absolute Helligkeit ist.

Die in den in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Merkmale und Ausführungsbeispiele können gemäß weiteren Ausführungsbeispielen miteinander kombiniert werden, auch wenn nicht alle Kombinationen explizit beschrieben sind. Weiterhin können die in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispiele alternativ oder zusätzlich weitere Merkmale gemäß der Beschreibung im allgemeinen Teil aufweisen.

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

1	Halbleiterschichtenfolge
10	Lichtauskoppelfläche
11	Oberflächenstruktur
2	Auskoppelschicht
20	Oberfläche
3	Abdeckmaterial
4	Wellenlängenkonversionselement
5	optisches Element
100	Licht emittierender Halbleiterchip
101	Licht emittierende Halbleiterbauelement

Patentansprüche

1. Licht emittierendes Halbleiterbauelement (101) aufweisend:
- einen Licht emittierenden Halbleiterchip (100) mit einer Halbleiterschichtenfolge (1) mit einer Lichtauskoppelfläche (10) und einer dielektrischen Auskoppelschicht (2) unmittelbar auf der Lichtauskoppelfläche und
- ein Abdeckmaterial (3) mit einem transparenten Kunststoff auf der Auskoppelschicht,
wobei der transparente Kunststoff einen temperaturabhängigen ersten Brechungsindex und die Auskoppelschicht einen zweiten Brechungsindex aufweist,
wobei bei Raumtemperatur der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex ist und
wobei eine Differenz zwischen dem ersten Brechungsindex und dem zweiten Brechungsindex bei Raumtemperatur größer ist als bei einer maximalen Betriebstemperatur.

2. Halbleiterbauelement nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Lichtauskoppelfläche eine Oberflächenstruktur (11) aufweist und die Auskoppelschicht die Oberflächenstruktur überragt.

3. Halbleiterbauelement nach dem vorherigen Anspruch, wobei die Auskoppelschicht die Oberflächenstruktur um eine Dicke überragt, die mindestens so groß wie die Wellenlänge eines vom Licht emittierenden Halbleiterchip im Betrieb erzeugten Lichts ist.

4. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Auskoppelschicht auf einer der

Halbleiterschichtenfolge gegenüber liegenden Seite eine glatte Oberfläche aufweist.

5. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Abdeckmaterial unmittelbar auf der Auskoppelschicht aufgebracht ist.

6. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der erste und zweite Brechungsindex bei der maximalen Betriebstemperatur im Wesentlichen gleich sind.

7. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der erste Brechungsindex bei der maximalen Betriebstemperatur größer als der zweite Brechungsindex ist.

8. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Halbleiterschichtenfolge einen Brechungsindex aufweist, der größer als der zweite Brechungsindex ist.

9. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei sich der erste und zweite Brechungsindex bei Raumtemperatur um mindestens 1% bezogen auf den ersten Brechungsindex und/oder um mindesten 0,01 unterscheiden.

10. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Auskoppelschicht ein Material ausgewählt aus MgF_2, SiO_2, Glas, Al_2O_3 aufweist.

11. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Kunststoff ein Material ausgewählt aus Silikon, Epoxid und Acrylat aufweist.

12. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die maximale Betriebstemperatur in einem Bereich von größer oder gleich 100°C und kleiner oder gleich 150°C liegt.

13. Halbleiterbauelement nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Abdeckmaterial ein Funktionselement bildet, das ausgewählt ist aus einem oder einer Kombination der folgenden Elemente:
- Verguss,
- Verkapselung,
- Linse,
- Verbindungsschicht zu einem Wellenlängenkonversionselement,
- Wellenlängenkonversionsschicht.

14. Verwendung des Licht emittierenden Halbleiterbauelements (101) gemäß einem der vorherigen Ansprüche bei einem Verfahren zum Betrieb des Halbleiterbauelements, bei dem das Halbleiterbauelement bei einer maximalen Betriebstemperatur betrieben wird, bei der der erste und zweite Brechungsindex im Wesentlichen gleich sind oder der erste Brechungsindex bei der maximalen Betriebstemperatur größer als der zweite Brechungsindex ist.

15. Verfahren zur Herstellung eines Licht emittierenden Halbleiterbauelements (101) nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem

- zur Herstellung eines Licht emittierenden Halbleiterchips (100) eine Halbleiterschichtenfolge (1) mit einer Lichtauskoppelfläche (10 bereitgestellt wird und unmittelbar auf der Lichtauskoppelfläche eine dielektrische Auskoppelschicht (2) aufgebracht wird,
- ein Abdeckmaterial (3) mit einem transparenten Kunststoff auf der Auskoppelschicht aufgebracht wird,

wobei der transparente Kunststoff einen temperaturabhängigen ersten Brechungsindex und die Auskoppelschicht einen zweiten Brechungsindex aufweist,

wobei bei Raumtemperatur der erste Brechungsindex größer als der zweite Brechungsindex ist und

wobei eine Differenz zwischen dem ersten Brechungsindex und dem zweiten Brechungsindex bei Raumtemperatur größer ist als bei einer maximalen Betriebstemperatur.

FIG 1A

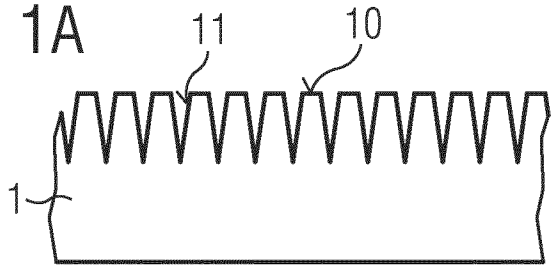


FIG 1B

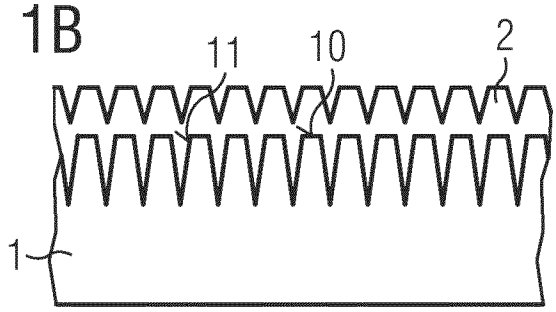


FIG 1C

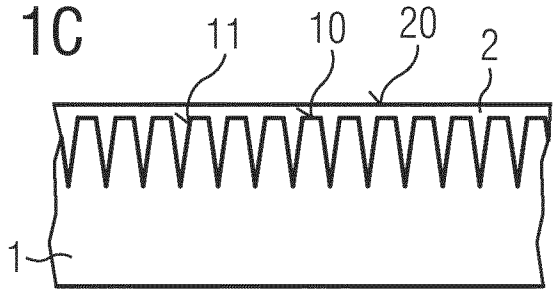


FIG 1D

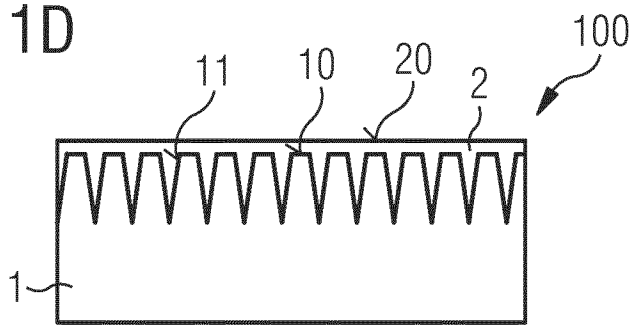


FIG 1E

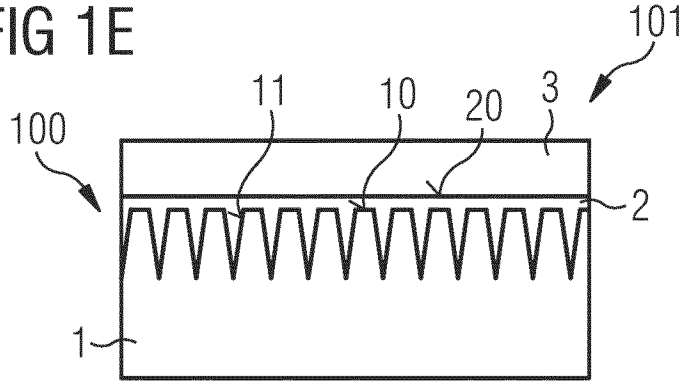


FIG 2A

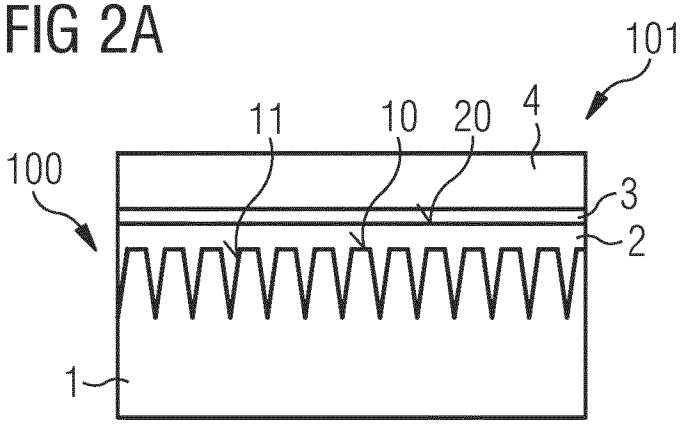


FIG 2B

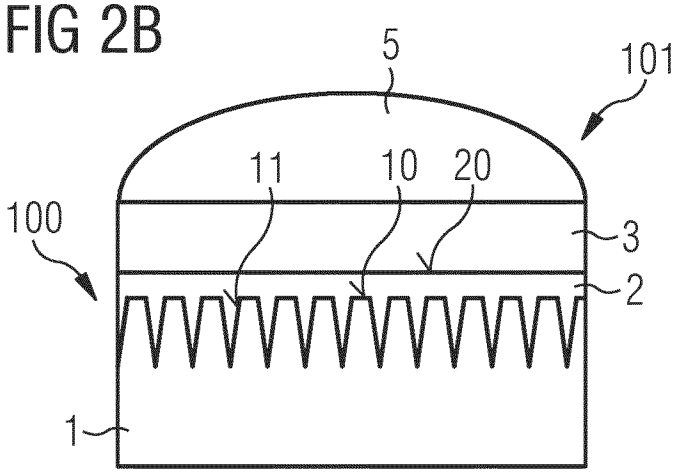


FIG 3A

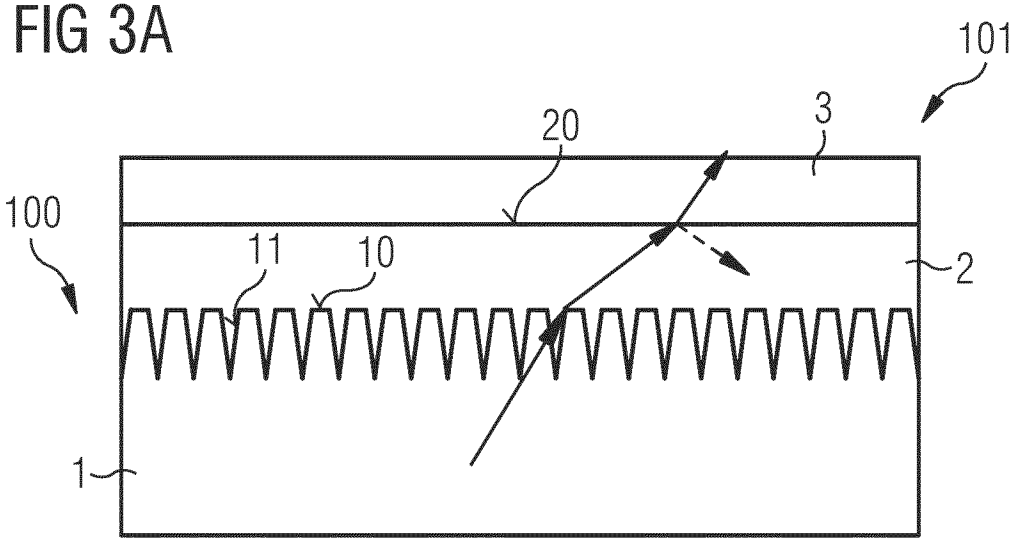


FIG 3B

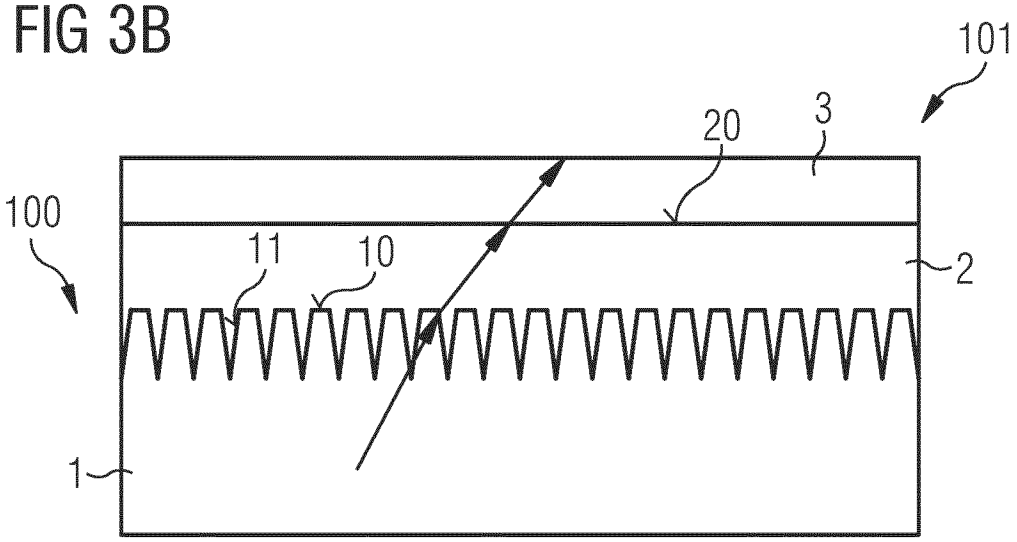


FIG 4A

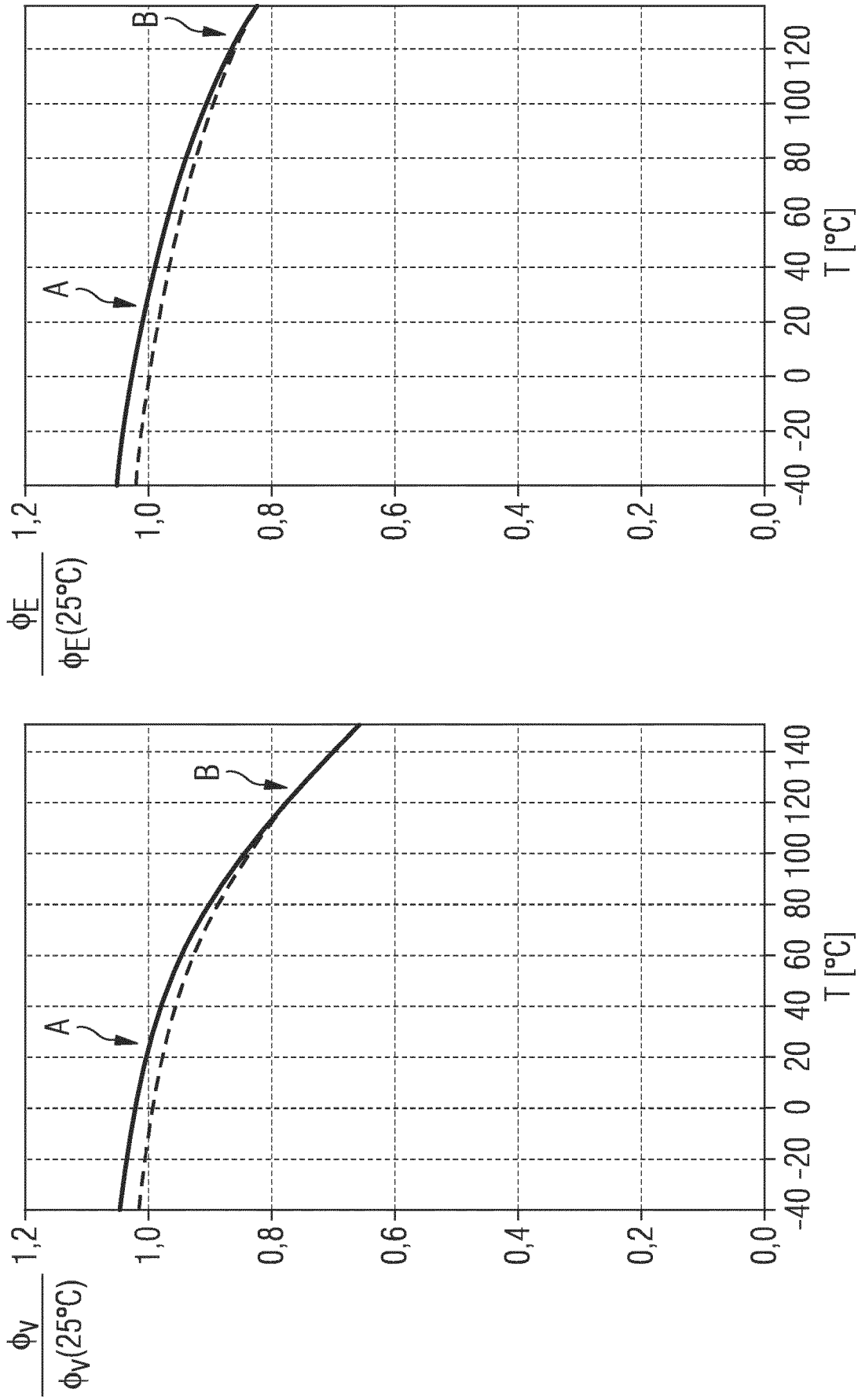
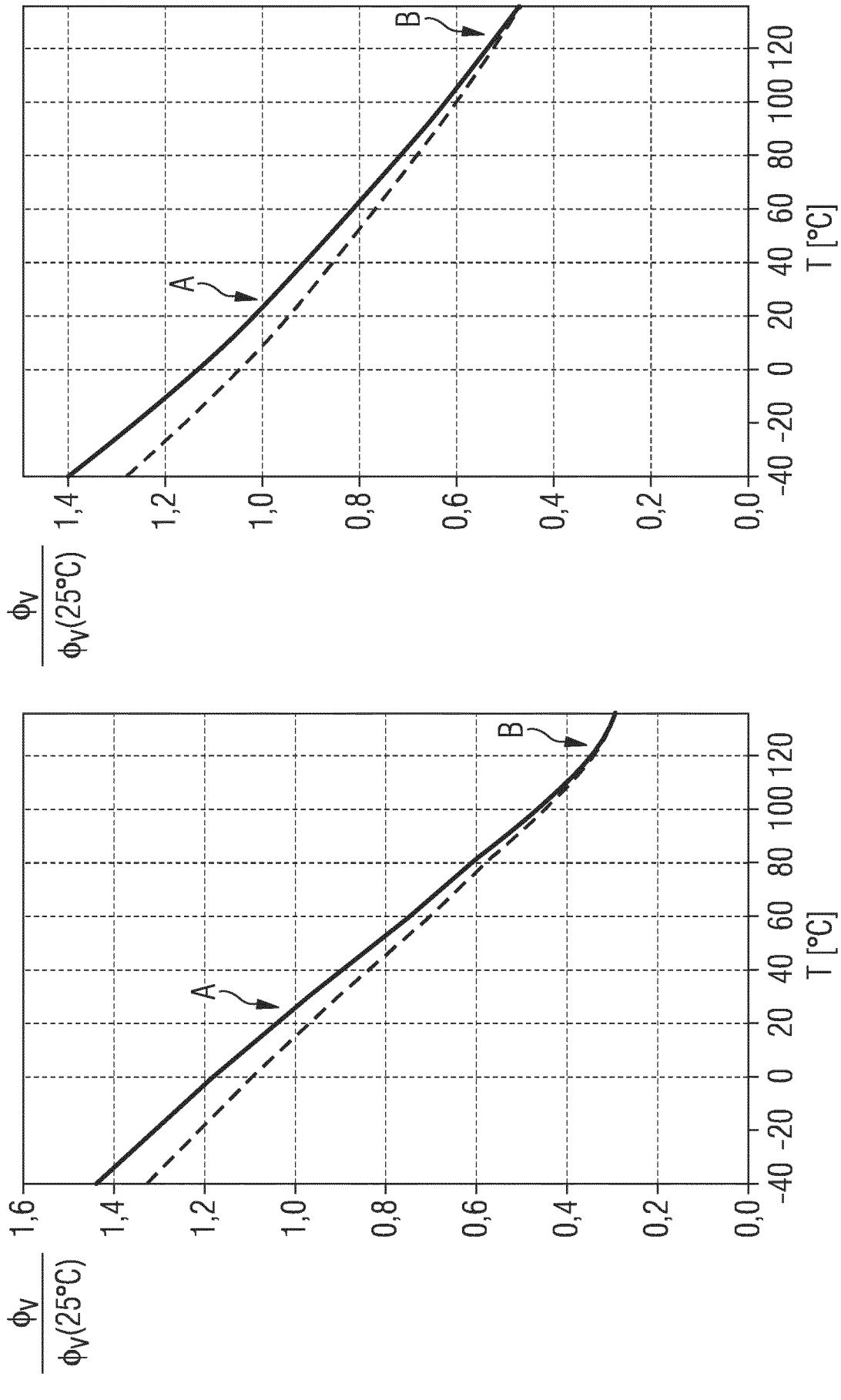

$\frac{\phi_V}{\phi_V(25°C)}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
-40 -20 0 20 40 60 80 100 120 140
T [°C]
A
B
$\frac{\phi_E}{\phi_E(25°C)}$
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
-40 -20 0 20 40 60 80 100 120
T [°C]
A
B

FIG 4B


Φv / Φv(25°C)
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
-40 -20 0 20 40 60 80 100 120
T [°C]
A
B
Φv / Φv(25°C)
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
-40 -20 0 20 40 60 80 100 120
T [°C]
A
B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2020/056914

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 33/44(2010.01)i; *H01L 33/20*(2010.01)n; *H01L 33/50*(2010.01)n

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

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008112959 A (NIPPON ELECTRIC GLASS CO) 15 May 2008 (2008-05-15) paragraphs [0004] - [0005], [0028] - [0039]; figures 1-2	1-15
X	EP 2113949 A2 (CREE INC [US]) 04 November 2009 (2009-11-04) paragraphs [0025] - [0051]; figures 2-6	1-15
A	US 2018062052 A1 (BOHMER MARCEL R [NL] ET AL) 01 March 2018 (2018-03-01) paragraphs [0042] - [0063]; figures 1-5	1-15
A	DE 102011079721 A1 (OSRAM GMBH [DE]) 31 January 2013 (2013-01-31) paragraphs [0019] - [0023], [0034] - [0051]; figures 1-2	1-15
A	WO 2014067716 A1 (OSRAM GMBH [DE]) 08 May 2014 (2014-05-08) page 4, line 29 - page 19, line 13; figures 3-12b	1-15
A	US 2016343918 A1 (YAMADA MOTOKAZU [JP] ET AL) 24 November 2016 (2016-11-24) paragraphs [0021] - [0072]; figures 1A-5B	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
13 May 2020	**25 May 2020**
Name and mailing address of the ISA/EP **European Patent Office** **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Authorized officer **Albrecht, Claus** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2020/056914

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2008112959 A	15 May 2008	NONE	
EP 2113949 A2	04 November 2009	EP 2113949 A2	04 November 2009
		JP 5227252 B2	03 July 2013
		JP 2009272634 A	19 November 2009
		US 2009272996 A1	05 November 2009
US 2018062052 A1	01 March 2018	TW 201820661 A	01 June 2018
		US 2018062052 A1	01 March 2018
		WO 2018044905 A1	08 March 2018
DE 102011079721 A1	31 January 2013	NONE	
WO 2014067716 A1	08 May 2014	DE 102012219873 A1	15 May 2014
		US 2015311406 A1	29 October 2015
		WO 2014067716 A1	08 May 2014
US 2016343918 A1	24 November 2016	JP 2016219613 A	22 December 2016
		US 2016343918 A1	24 November 2016

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/056914

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L33/44
ADD. H01L33/20 H01L33/50

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2008 112959 A (NIPPON ELECTRIC GLASS CO) 15. Mai 2008 (2008-05-15) Absätze [0004] - [0005], [0028] - [0039]; Abbildungen 1-2	1-15
X	EP 2 113 949 A2 (CREE INC [US]) 4. November 2009 (2009-11-04) Absätze [0025] - [0051]; Abbildungen 2-6	1-15
A	US 2018/062052 A1 (BOHMER MARCEL R [NL] ET AL) 1. März 2018 (2018-03-01) Absätze [0042] - [0063]; Abbildungen 1-5	1-15
A	DE 10 2011 079721 A1 (OSRAM GMBH [DE]) 31. Januar 2013 (2013-01-31) Absätze [0019] - [0023], [0034] - [0051]; Abbildungen 1-2	1-15

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
13. Mai 2020	25/05/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Albrecht, Claus

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/056914

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2014/067716 A1 (OSRAM GMBH [DE]) 8. Mai 2014 (2014-05-08) Seite 4, Zeile 29 - Seite 19, Zeile 13; Abbildungen 3-12b	1-15
A	US 2016/343918 A1 (YAMADA MOTOKAZU [JP] ET AL) 24. November 2016 (2016-11-24) Absätze [0021] - [0072]; Abbildungen 1A-5B	1-15

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2020/056914

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2008112959 A	15-05-2008	KEINE	
EP 2113949 A2	04-11-2009	EP 2113949 A2	04-11-2009
		JP 5227252 B2	03-07-2013
		JP 2009272634 A	19-11-2009
		US 2009272996 A1	05-11-2009
US 2018062052 A1	01-03-2018	TW 201820661 A	01-06-2018
		US 2018062052 A1	01-03-2018
		WO 2018044905 A1	08-03-2018
DE 102011079721 A1	31-01-2013	KEINE	
WO 2014067716 A1	08-05-2014	DE 102012219873 A1	15-05-2014
		US 2015311406 A1	29-10-2015
		WO 2014067716 A1	08-05-2014
US 2016343918 A1	24-11-2016	JP 2016219613 A	22-12-2016
		US 2016343918 A1	24-11-2016