

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7504980号
(P7504980)

(45)発行日 令和6年6月24日(2024.6.24)

(24)登録日 令和6年6月14日(2024.6.14)

(51)国際特許分類	F I	
H 0 1 L 33/50 (2010.01)	H 0 1 L 33/50	
F 2 1 V 19/00 (2006.01)	F 2 1 V 19/00	1 5 0
F 2 1 V 3/00 (2015.01)	F 2 1 V 19/00	1 7 0
F 2 1 V 3/08 (2018.01)	F 2 1 V 3/00	5 1 0
F 2 1 V 9/32 (2018.01)	F 2 1 V 3/08	
請求項の数 18 (全34頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2022-501061(P2022-501061)	(73)特許権者	510077369
(86)(22)出願日	令和2年7月3日(2020.7.3)		ブリッジラックス インコーポレイテッド
(65)公表番号	特表2022-540191(P2022-540191 A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント フレモント プール
(43)公表日	令和4年9月14日(2022.9.14)		バード 4 6 4 1 0
(86)国際出願番号	PCT/US2020/040801	(74)代理人	100147485
(87)国際公開番号	WO2021/007121		弁理士 杉村 憲司
(87)国際公開日	令和3年1月14日(2021.1.14)	(74)代理人	230118913
審査請求日	令和4年2月16日(2022.2.16)		弁護士 杉村 光嗣
(31)優先権主張番号	16/517,524	(74)代理人	100195534
(32)優先日	令和1年7月19日(2019.7.19)		弁理士 内海 一成
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	リ イ - チュン
(31)優先権主張番号	62/872,227		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 2 6 ダンビル タッサジャラ レーン
(32)優先日	令和1年7月9日(2019.7.9)		2 3 5 0
最終頁に続く		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 フルスpekトル白色発光デバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

白色発光デバイスであって、

490 nm ~ 570 nm 及び 620 nm ~ 650 nm のピーク発光波長を有する光を生成するためのフォトルミネセンス材料と、

少なくとも 30 nm の FWHM 及び 420 nm ~ 480 nm の主波長を有する広帯域励起光を生成するための広帯域固体励起源と、を含み、

前記デバイスは、1800 K ~ 6800 K の相関色温度、少なくとも 90 の CRI R_a、及び 10 より大きく 90 より小さい CRI R₉ を有する白色光であって、645 nm ~ 695 nm の波長で、spekトルの橙色 ~ 赤色波長領域におけるその最大値から前記最大値の 50 % に強度が低下するspekトルを有する白色光を生成し、

430 nm ~ 520 nm の波長範囲にわたって、前記相関色温度と同じ色温度の黒体曲線又は前記相関色温度と同じ色温度の CIE 標準光源 D の光強度からの前記白色光の最大強度偏差率は 60 % 未満であり、

前記デバイスは、少なくとも 102 lm / W の効率を有する、発光デバイス。

【請求項 2】

前記デバイスは、645 nm ~ 665 nm の波長で、spekトルの橙色 ~ 赤色波長領域におけるその最大値から前記最大値の 50 % に強度が低下するspekトルを有する白色光を生成する、請求項 1 に記載の発光デバイス。

【請求項 3】

前記白色光は、少なくとも95のCRI Raを有する、請求項1又は2に記載の発光デバイス。

【請求項4】

前記白色光の概日作用因子は、前記黒体曲線又はCIE標準光源Dの概日作用因子の5%以内である偏差を有する、請求項1又は2に記載の発光デバイス。

【請求項5】

前記広帯域励起光は、30nm～70nm又は少なくとも50nmのFWHMを有する、請求項1～4のいずれかに記載の発光デバイス。

【請求項6】

前記白色光は2700K～3000Kの相関色温度を有する、請求項1～5のいずれかに記載の発光デバイス。

10

【請求項7】

前記白色光は4000K～6800Kの相関色温度を有し、前記デバイスは少なくとも110lm/Wの効率を有する、請求項1～5のいずれかに記載の発光デバイス。

【請求項8】

前記広帯域固体励起源は、複数の狭帯域固体光源を含む、請求項1～7のいずれかに記載の発光デバイス。

【請求項9】

前記広帯域固体励起源は、複数の異なる量子井戸を有する固体光源を含む、請求項1～8のいずれかに記載の発光デバイス。

20

【請求項10】

前記デバイスは、表面実装型デバイス、チップオンボード、及びフィラメントのうちの1つである、請求項1～9のいずれかに記載の発光デバイス。

【請求項11】

前記デバイスは、50より大きく90より小さいCRI R9を有する白色光を生成する、請求項1～10のいずれかに記載の発光デバイス。

【請求項12】

前記デバイスは、90より小さい又は72より小さいCRI R8を有する白色光を生成する、請求項1～11のいずれかに記載の発光デバイス。

【請求項13】

30

LEDフィラメントであって、
光透過性基板と、
前記光透過性基板の面に取り付けられる広帯域固体励起源のアレイと、
490nm～570nm及び620nm～650nmのピーク発光波長を有する光を生成するためのフォトルミネセンス材料と、を備え、
前記広帯域固体励起源が、少なくとも30nmのFWHM及び420nm～480nmの主波長を有する広帯域励起光を生成し、

前記LEDフィラメントが、1800K～6800Kの相関色温度、少なくとも90のCRI Ra、及び10より大きく90より小さいCRI R9を有する白色光であって、
645nm～695nmの波長で、スペクトルの橙色～赤色波長領域におけるその最大値から前記最大値の50%に強度が低下するスペクトルを有する白色光を生成し、

40

430nm～520nmの波長範囲にわたって、前記相関色温度と同じ色温度の黒体曲線又は前記相関色温度と同じ色温度のCIE標準光源Dの光強度からの前記白色光の最大強度偏差率は60%未満であり、

前記LEDフィラメントは、少なくとも102lm/Wの効率を有する、LEDフィラメント。

【請求項14】

前記LEDフィラメントは、645nm～665nmの波長で、スペクトルの橙色～赤色波長領域におけるその最大値から前記最大値の50%に強度が低下するスペクトルを有する白色光を生成する、請求項13に記載のLEDフィラメント。

50

【請求項 15】

前記白色光の概日作用因子は、前記黒体曲線又は C I E 標準光源 D の概日作用因子の 5% 以内である偏差を有する、請求項 13 又は 14 に記載の L E D フィラメント。

【請求項 16】

前記白色光は、少なくとも 95 の C R I R a を有する、請求項 13 ~ 15 のいずれかに記載の L E D フィラメント。

【請求項 17】

前記広帯域固体励起源は、複数の狭帯域固体光源を含む、請求項 13 ~ 16 のいずれかに記載の L E D フィラメント。

【請求項 18】

前記広帯域固体励起源は、複数の異なる量子井戸を有する固体光源を含む、請求項 13 ~ 16 のいずれかに記載の L E D フィラメント。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本出願は、2019年7月9日に出願された米国特許仮出願第62/872,277号、及び2019年7月19日に出願された米国実用特許出願第16/517,524号に対する優先権を主張し、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【技術分野】

【0002】

本発明のいくつかの実施形態は、フォトルミネセンス波長変換材料を含むフルスペクトル固体白色発光デバイスを対象とする。より具体的には、ただし非限定的に、いくつかの実施形態は、自然の太陽光に酷似した青色光から赤色光までのスペクトルを有するフルスペクトル白色光を生成するためのフルスペクトル白色発光デバイスに関する。

【背景技術】

【0003】

白色発光 L E D (「白色 L E D」) は、L E D (固体励起源) によって放出された青色光の一部を吸収し、異なる色 (波長) の可視光を再放出する 1 つ以上のフォトルミネセンス材料 (典型的には無機蛍光体材料) を含む。蛍光体物質によって吸収されない L E D によって生成された青色光の部分は、蛍光体によって放出された光と組み合わせられることにより、色が白であるように目に見える光がもたらされる。それらの長い動作寿命 (> 50,000 時間) 及び高い効率 (100 ルーメン/W 以上) により、白色 L E D は、急速に従来の蛍光灯、コンパクト蛍光灯、及び白熱灯に取って代わっている。

【0004】

白色光源で生成される光の特性及び品質を定量化するために様々な測定基準が存在する。固体照明産業内で最も一般的に使用される 2 つの測定基準は、相関色温度 (Correlated Color Temperature、C C T) 及び国際照明委員会 (International Commission on Illumination、C I E) 一般演色評価数 (General Color Rendering Index、C R I) R a である。

【0005】

照明源の C C T はケルビン (K) 単位で測定され、照明源によって生成された光の色に対応する色の光を放射するプランキアン (黒体) 放射体の色温度である。

【0006】

一般 C R I R a は、照明源が物体の真の色をどの程度忠実にレンダリングするかを特徴付けるものであり、8 つの色テストサンプル (R 1 ~ R 8) の光源の照明が、基準光源による照明と比較してどの程度優れているかを示す測定値に基づいている。一般に、この値が高いほど、黒体放射体及び自然光に近いことを示す。一般 C R I R a は負の値を取り得、最大値は 100 である。色サンプル R 1 ~ R 8 は全てパステルカラー (飽和度の低い色である「淡いグレーがかった赤色」~「赤みがかった紫色」) であるため、一般 C R I R a は、太陽光に酷似するフルスペクトルを生成する白熱光源の光出力における微妙

10

20

30

40

50

な違いを有益に測定した。しかしながら、スペクトルがピークで構成されている白色LEDの場合、一般CRI Raは、限定的な色範囲での演色の平均測定値であり、特定の色又は飽和度の高い色に対する照明源の性能に関する情報を与えないため、不十分であることが判明し得る。したがって、フルスペクトル固体白色発光デバイスの特徴付ける場合、フルスペクトル光の有意な特徴付けを行うために、CRI色サンプルR9～R12（飽和色である「飽和赤色」、「飽和黄色」、「飽和緑色」、「飽和青色」）及びR13～R15（「薄肌色」、「葉緑色」、「中肌色」）を考慮するべきである。

【0007】

照明がヒトの睡眠サイクル、概日リズム、覚醒、及び他の非視覚的反応に影響を及ぼし得るため、良好な照明設計は、本質的にヒト中心である。ヒトの健康に関するLED（固体）照明の安全性は、最近の精査対象となっている。人工光が、ホルモン合成、睡眠-覚醒サイクル、及び覚醒レベルなどヒトの生理及び心理の正常な調節を妨害するという懸念が高まりつつある。具体的には、最近の証拠は、例えば、LEDで生成された光など高色温度（5000K）かつ高照度の光が、入眠前のメラトニン分泌を抑制し、また主観的覚醒を低減することを示している。青色光は、昼夜の自然サイクル（概日）に依存する生物学的プロセスの乱れを通じて生体に影響を与える傾向が他の色よりも強いことも報告されている。夕方及び夜間の青色光への曝露は、健康に有害であり得ると考えられている。

【0008】

メラトニン抑制効果を予測するために、様々な測定基準が提案されている。概日刺激を測定するためのより一般的な測定基準のうち2つは、(i) 概日作用因子（Circadian Action Factor、CAF）及び(ii) メラノピック反応（Melanopic Response、MR）である。CAF及びMRは、放射線の概日発光効率（CER）対放射線の発光効率（LER）の比率であり、それぞれが、光に対する脳の感度の尺度、すなわち、光に対するヒトの非視覚的感度の尺度を提供する。CAFは、特定波長の光への曝露前後のヒトのメラトニン濃度を測定して、概日作用スペクトル（Circadian Action Spectrum、CAS）、すなわち概日感度スペクトル $c(\lambda)$ を確立する研究に基づいている。CAFは、 $a_{c,v}$ で示され、放射線の概日効率対発光効率の比率である。MRは、哺乳類のipRGC（内因性光感受性網膜神経節細胞）に見られるメラノプシン光色素の吸収スペクトルに基づいており、メラノピック反応（感度）スペクトル $m(\lambda)$ を確立する。MRは、放射線の概日効率対発光効率の比率である。最近では、ipRGCのスペクトル反応に重み付けされた、新測定基準の等価メラノピックス（Melanopic Lux、EML）が提案されている。

【0009】

LED照明に対する更なる潜在的な懸念は、紫色～青色光への過剰な曝露から生じ得る光網膜炎（網膜に対する光化学的損傷）の可能性である。これは、ブルーライトハザード（BlueLightHazard、BLH）として知られており、CAF及びMRと同様に、対応する青色感度スペクトル $b(\lambda)$ を有する。BLHのリスクは、白色光を放出するLEDが同一色温度で他のタイプの照明源よりも著しく多くの青色を含むわけではないにもかかわらず、LEDと関連付けられることがある。すなわち、LEDで生成された青色ピークはスペクトルのCAF及びMR波長領域内で非常に高いため、BLHは、高CCT（5000K）白色LEDに対する潜在的な眼の健康上の懸念事項である。現在の国際標準によると、白色光を放出し、一般的な照明用途で使用される光源は、健康な成人の網膜に対して有害であると見なされていない。つまり、特殊なランプ又は有色光源の光学的安全性は個別的に考慮されなければならない。乳児又は特定タイプの眼疾患を患う成人など影響を受けやすい集団の周囲で使用される光源は、更なる評価を必要とする。

【0010】

現在、LED照明産業では、フルスペクトルLEDデバイスが、白熱灯及び黒体放射で示されるように、100に等しい一般CRI Raを有する白色光の生成を目指している。しかしながら、そのようなLEDは、約80のCRI Raを有する光を生成する白色LED（CRI80）と比較して、15～30%の効率を犠牲にすることが見出されてい

10

20

30

40

50

る。

【0011】

本発明は、既知の固体白色発光デバイスの欠点を少なくとも部分的に克服し、現在のCRI80デバイスの効率に少なくとも近づく、又はそれを超える効率を有する、ヒト中心のフルスペクトル白色発光デバイスを提供しようとして生まれた。

【発明の概要】

【0012】

本発明は、自然光に限りなく近い、青色波長から赤色波長までのスペクトル成分を有するフルスペクトル白色光を生成するためのフルスペクトル白色発光デバイスに関する。

【0013】

具体的には、ただし非限定的に、本発明の少なくともいくつかの実施形態は、スペクトルの青色～シアン波長領域において自然光に酷似する白色光を生成するための白色発光デバイスを対象とする。本発明のいくつかの実施形態によると、そのような白色発光デバイスは、概日作用因子(CAF)及びメラノピック反応(MR)によって測定されるヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける青色～シアン波長領域(430nm～520nm)において自然光に酷似するフルスペクトル白色光を生成する。そのようなスペクトル特性を有する白色光は、波長スペクトルのこの部分が、概日サイクルに影響を及ぼし得るメラトニン分泌に影響を与えるため、ヒトの健康に対して有益であると考えられている。本発明によるフルスペクトル白色発光デバイスは、約420nm～約480nmの主波長を有する(すなわち、可視スペクトルの青色波長範囲内である)広帯域励起光を生成する広帯域青色励起源、例えば青色LEDを用いる。本特許明細書において、「広帯域」は、少なくとも25nmのFWHM(Full Width Half Maximum、半値全幅)を有する光を示す。例えば、FWHMは、少なくとも30nm又は少なくとも50nmであり得、約25nm～約70nmのFWHMを有し得、任意選択的に、約30nm～約70nmの範囲のFWHMを有し得る。広帯域はまた、約420nm～約480nmの波長範囲での、少なくとも2つの異なる波長の青色発光の組み合わせからなる青色光を示すために使用され得る。広帯域青色励起光を使用することにより、発光デバイスは、スペクトルの青色～シアン波長領域(430nm～520nm)内の自然光に酷似するフルスペクトル光を生成することができる。

【0014】

本発明のいくつかの実施形態は、効率を改善するように最適化(縮小)されている、スペクトルの赤色波長領域に対応する波長における光強度を有する白色光を生成するフルスペクトル白色発光デバイスに更に関する。いくつかの実施形態では、デバイスは、ピーク発光波長/FWHMが、眼の明所視反応(すなわち明所視感度関数)が概して低い(約0.1)、スペクトルの赤色波長領域(範囲)に対応する波長において光強度(光子カウント)を低減するように、具体的には、CRI R9(「飽和赤色」)及びCRI R8(「赤みがかった紫色」)の値に影響を及ぼし得る、約650nmよりも長い波長の光強度を低減するように選択される。

【0015】

本発明の一態様によると、約490nm～約680nmのピーク発光波長を有する光を生成するためのフォトルミネセンス材料と、約420nm～約480nmの主波長を有する広帯域励起光を生成するための広帯域固体励起源と、を含むフルスペクトル白色発光デバイスであって、当該デバイスは、約645nm～約695nmの波長において、スペクトルの橙色～赤色波長領域でのその最大値から当該最大値の約50%に強度が低下するスペクトルを有する白色光を生成し、約430nm～約520nmの波長範囲にわたって、黒体曲線又は同一相関色温度のCIE標準光源Dの光強度からの当該白色光の最大強度偏差率が60%未満である、フルスペクトル白色発光デバイスが想定される。より具体的には、スペクトルの橙色～赤色領域での最大強度は、フォトルミネセンス変換(生成)光に対応し、最大強度は、約570nmよりも長い波長で生じる。例えば、最大強度は、約590nm～約620nmの範囲の波長で生じ得る。

10

20

30

40

50

【0016】

デバイスによって放出される光の最大強度偏差率は、50%未満、40%未満、30%未満、20%未満、及び10%未満のうちの少なくとも1つであり得る。

【0017】

白色光は、黒体曲線又はCIE標準光源Dの概日作用因子(CAF)の5%以内であるCAFを有し得る。

【0018】

いくつかの実施形態では、デバイスによって生成された白色光は、90未満のCRI R9及び/又はCRI R8を有する。

【0019】

白色光は、約645nm~約665nmの波長において、橙色~赤色波長領域でのその最大値から当該最大値の約50%に強度が低下するスペクトルを有し得、少なくとも80のCRI Raを有し得る。

【0020】

白色光は、約665nm~約690nmの波長でデバイスによって放出される光のその最大値から当該最大値の約50%に強度が低下するスペクトルを有し得、少なくとも90のCRI Ra及び50超のCRI R9を有し得る。

【0021】

いくつかの実施形態では、白色光は、約680nm~約695nmの波長でデバイスによって放出される光のその最大値から当該最大値の約50%に強度が低下するスペクトルを有し、少なくとも95のCRI Ra及び60超のCRI R9を有し得る。

【0022】

フォトルミネセンス材料は、約620nm~約655nmのピーク発光波長を有する光を生成する、少なくとも1種のフォトルミネセンス材料又はフォトルミネセンス材料の組み合わせを含み得る。

【0023】

白色光は、約2700K~約3000Kの相関色温度を有し得、デバイスは、少なくとも102lm/Wの効率を有し得る。

【0024】

いくつかの実施形態では、白色光は、約4000K~約6800Kの相関色温度を有し得、デバイスは、少なくとも110lm/Wの効率を有し得る。

【0025】

広帯域固体励起源は、少なくとも25nmのFWHMを有する広帯域励起光を生成し得る。

【0026】

広帯域励起光は、2つ以上の異なる波長の青色発光の組み合わせを含み得る。異なる波長の青色発光は、2つの方法、すなわち、(i)異なる主波長の複数の個別の青色LED(狭帯域LED)を使用するか、又は(ii)活性領域内で、例えば特別に設計された、複数の異なる量子井戸を使用して、複数の青色波長発光を発生させる個別のLED(広帯域LED)を使用することにより生成することができる。したがって、広帯域青色固体励起源は、1個以上の狭帯域固体光源、例えば、LED又はレーザダイオードなどで構成することができ、1個以上の狭帯域固体光源のそれぞれが、420nm~480nmの異なる主波長の狭帯域青色光を「直接」生成する。いくつかの実施形態では、少なくとも2つの青色発光の間に少なくとも5nmの波長差、又は少なくとも2つの青色発光の間に少なくとも10nmの波長差が存在する。

【0027】

いくつかの実施形態では、広帯域固体励起源は、420nm~480nmの第1の主波長を有する青色発光を生成するための第1の固体光源と、420nm~480nmの第2の主波長を有する、異なる青色発光を生成するための第2の固体光源と、を含み得る。第1の主波長は、420nm~450nmであり得、第2の主波長は、450nm~480

10

20

30

40

50

nmであり得る。広帯域青色励起源は、第1の主波長及び第2の主波長とは異なる、420nm～480nmの第3の主波長を有する青色発光を生成するための第3の固体光源を更に含み得る。

【0028】

あるいは、広帯域青色固体励起源はまた、広帯域固体光源、例えば、多重量子井戸(multiple-quantum-well、MQW)構造の異なる量子井戸を使用して、複数の異なる波長の青色発光を直接生成する活性領域を有するInGaN/GaN青色LEDなど広帯域青色LEDを包含する。いくつかの実施形態では、広帯域固体励起源は、それぞれ異なる主波長を有する青色発光をそれぞれ生成する、少なくとも2つの異なる量子井戸を有するLEDを含む。

10

【0029】

本発明の広帯域固体励起源は、15nm～20nmの範囲のFWHMを有する単一狭帯域波長の青色光を生成する狭帯域青色LEDを用いる既知の白色LEDと対比される。本発明の広帯域青色固体励起源は、青色発光(420nm～480nm)フォトルミネセンス材料(蛍光体)を使用して、紫外線のフォトルミネセンス変換プロセスを通して間接的に青色励起光を生成するUV固体光源(UVLED)を用いる既知の白色LEDと更に対比される。換言すると、本発明による広帯域固体励起源/白色発光デバイスは、420nm～480nmの範囲の励起光を発生させるためにフォトルミネセンス材料を用いない/含まない。

【0030】

いくつかの実施形態では、フォトルミネセンス材料は、490nm～550nmのピーク発光波長を有する第1のフォトルミネセンス材料と、600nm～680nmのピーク発光波長を有する第2のフォトルミネセンス材料と、を含み得る。

20

【0031】

一態様によると、本発明は、約490nm～約680nmのピーク発光波長を有する光を生成するためのフォトルミネセンス材料と、約420nm～約480nmの主波長を有する広帯域励起光を生成するための広帯域固体励起源と、を含むフルスペクトル白色発光デバイスを包含し、このデバイスは、約1800K～約6800Kの相関色温度を有する白色光を生成し、当該白色光は、黒体曲線又は同一相関色温度のCIE標準光源DのCAFの5%以内であるCAFを有するスペクトルを有する。

30

【0032】

いくつかの実施形態では、約430nm～約520nmの波長範囲にわたって、黒体曲線又は同一相関色温度のCIE標準光源Dの光強度からの当該白色光の最大強度偏差率が存在し得る。

【0033】

当該光の当該最大強度偏差率は、50%未満、40%未満、30%未満、20%未満、及び10%未満のうちの少なくとも1つであり得る。

【0034】

白色光は、強度が、約645nm～約695nmの波長においてその最大強度の半分に低下するスペクトルを有し得る。

40

【0035】

いくつかの実施形態では、白色光は、90未満のCRI R9を有し得る。

【0036】

白色光は、約2700K～約3000Kの相関色温度を有し得、デバイスは、少なくとも102lm/Wの効率を有し得る、又は白色光は、約4000K～約6800Kの相関色温度を有し得、デバイスは、少なくとも110lm/Wの効率を有し得る。

【0037】

本発明のいくつかの実施形態は、フォトルミネセンス材料(例えば、黄色～緑色フォトルミネセンス材料及び橙色～赤色フォトルミネセンス材料)が、表面実装型デバイス、チップオンボード、及びフィラメントなど広帯域固体励起源と共にパッケージ化される、パ

50

パッケージ化白色発光デバイスにおいて有用性を見出す。他の実施形態では、フォトルミネセンス材料は、広帯域固体励起源に遠隔に配置され得る。

【0038】

本発明のこれらの態様及び特徴、並びに他の態様及び特徴は、添付の図面と併せて本発明の特定の実施形態の以下の説明を考察することで、当業者には明らかとなるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1a】いくつかの実施形態による、遠隔蛍光体フルスペクトル白色発光デバイスを示す。

【図1b】いくつかの実施形態による、遠隔蛍光体フルスペクトル白色発光デバイスを示す。

10

【図2a】図1a及び図1bのフルスペクトル白色発光デバイスで使用するための、本発明の一実施形態による広帯域青色固体励起源の概略図である。

【図2b】図1a及び図1bのフルスペクトル白色発光デバイスで使用するための、本発明の別の実施形態による広帯域青色固体励起源の概略図である。

【図3a】いくつかの実施形態による、フルスペクトル白色発光デバイスの概略断面図である。

【図3b】いくつかの実施形態による、フルスペクトル白色発光デバイスの概略断面図である。

【図4a】いくつかの実施形態による、フルスペクトル白色発光デバイスの概略図である。

20

【図4b】いくつかの実施形態による、フルスペクトル白色発光デバイスの概略図である。

【図5】(A)(i)狭帯域励起源を用いる、既知のフルスペクトル発光デバイス、Aと示されるスペクトル(点線)、(ii)広帯域励起源を用いる、本発明によるフルスペクトル発光デバイス、Bと示されるスペクトル(細い実線)、(iii)スペクトルA及びBのCCTと名目上同一であるCCTの黒体曲線(bbc)(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度I対波長(nm)、並びに(B)概日作用スペクトル(CAS)(太い実線)、相対量子感度対波長(nm)を示す。

【図6】(i)Dev.1(実線)、(ii)Dev.2(太い破線)、(iii)Com.1(点線)、並びに(iv)Dev.1、Dev.2、及びCom.1と名目上同一である2700KのCCTのプランキアンススペクトル(細い破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度Y=100に正規化)対波長(nm)を示す。

30

【図7a】(i)Dev.3(実線)、(ii)Dev.4(太い破線)、(iii)Dev.5(鎖線)、(iv)Com.2(点線)、並びに(v)Dev.3、Dev.4、Dev.5、及びCom.2と名目上同一である3000KのCCTのプランキアンススペクトル(細い破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度Y=100に正規化)対波長(nm)を示す。

【図7b】(i)Dev.4(実線)、(ii)Com.2(点線)、並びに(iii)Dev.4及びCom.2と名目上同一である3000KのCCTのプランキアンススペクトル(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度Y=100に正規化)対波長(nm)を示す。

40

【図7c】(i)Dev.5(実線)、(ii)Com.3(点線)、並びに(iii)Dev.5及びCom.3と名目上同一である3000KのCCTのプランキアンススペクトル(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度Y=100に正規化)対波長(nm)を示す。

【図8】(i)Dev.6(実線)、(ii)Com.4(点線)、並びに(iii)Dev.6及びCom.4と名目上同一である4000KのCCTのプランキアンススペクトル(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度Y=100に正規化)対波長(nm)を示す。

【図9a】(i)Dev.7(実線)、(ii)Com.5(点線)、並びに(iii)

50

Dev. 7及びCom. 5と名目上同一である5000KのCCTのプランキアンスペクトル(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度 $Y = 100$ に正規化)対波長(nm)を示す。

【図9b】(i)Dev. 8(実線)、(ii)Com. 6(点線)、並びに(iii)Dev. 8及びCom. 6と名目上同一である5000KのCCTのプランキアンスペクトル(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度 $Y = 100$ に正規化)対波長(nm)を示す。

【図10】いくつかの実施形態による、LEDフィラメントランプの側面図である。

【図11a】図10のランプで使用するための、いくつかの実施形態によるLEDフィラメント白色発光デバイスの概略断面のB-B側及び部分断面平面図である。

【図11b】図10のランプで使用するための、いくつかの実施形態によるLEDフィラメント白色発光デバイスの概略断面のB-B側及び部分断面平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0040】

当業者が本発明を実施することを可能にするように、本発明の実施形態が、本発明の例解的な実施例として提供される図面を参照して、ここで詳細に説明される。特に、以下の図面及び実施例は、本発明の範囲を単一の実施形態に限定することを意図するものではなく、説明又は例解される要素の一部又は全ての交換によって他の実施形態が可能である。更に、本発明のある要素が、既知の構成要素を使用して部分的に又は完全に実装され得る場合、本発明の理解に必要であるこのような既知の構成要素のそれらの部分のみが説明され、このような既知の構成要素の他の部分の詳細な説明は、本発明を曖昧にしないように省略される。本明細書において、単数形の構成要素を示す実施形態は限定的であると見なされるべきではなく、むしろ、本発明は、複数の同じ構成要素を含む他の実施形態を包含することを意図しており、その逆もまた同様である。更に、出願人は、そのように明示的に記載されていない限り、本明細書又は特許請求の範囲のいずれの用語についても意図しない。更に、本発明は、例解によって本明細書において言及される既知の構成要素に対する、現在及び将来の既知の等価物を包含する。

【0041】

本明細書全体を通して、図面番号が前に付く同様の参照番号は、同様の特徴を示すために使用されている。

【0042】

本発明の実施形態は、420nm~480nmの主波長を有する広帯域青色励起光を生成するように動作可能な広帯域固体励起源、例えば1個以上のLEDを含む白色発光デバイスに関する。本特許明細書において、「広帯域」は、少なくとも25nmのFWHM(半値全幅)を有する光を示す。例えば、FWHMは、少なくとも30nm又は少なくとも50nmであり得、約25nm~約70nmの範囲のFWHMを有し得、任意選択的に、30nm~70nmの範囲のFWHMを有し得る。広帯域はまた、420nm~480nmの波長範囲の、少なくとも2つの異なる波長の青色発光の組み合わせからなる青色光を示すために使用され得る。より具体的には、ただし非限定的に、本発明のいくつかの実施形態は、可視スペクトルの青色~シアン波長領域(430nm~520nm)において自然光に酷似するフルスペクトル白色光を生成ための白色発光デバイスに関する。

【0043】

遠隔蛍光体フルスペクトル白色発光デバイス

【0044】

図1a及び図1bは、本発明の一実施形態による遠隔蛍光体固体フルスペクトル白色発光デバイスを示し、図1aは部分断面平面図であり、図1bはA-Aを通る断面図である。デバイス110は、1800K~6800KのCCT(相関色温度)を有するフルスペクトル白色光を生成するように構成されている。このデバイスは、単独で使用され得る、又はダウンライト若しくは他の照明装置の一部を含み得る。デバイス110は、円板形状の基部114、中空円筒形壁部分116、及び取り外し可能な環状頂部118からなる中

10

20

30

40

50

空円筒形本体 112 を含む。熱の散逸を助けるために、基部 114 は、好ましくは、アルミニウム、アルミニウム合金又は高い熱伝導率を有する任意の材料から作製される。基部 114 は、ねじ若しくはボルトによって、又は他の締結具によって、又は接着剤によって、壁部分 116 に取り付けられ得る。

【0045】

デバイス 110 は、円形状の MCPCB (metal core printed circuit board、金属コアプリント回路基板) 122 と熱連通して取り付けられている複数 (図 1 a 及び図 1 b の例では 5 個) の広帯域青色固体励起源 120 を更に含む。広帯域青色固体励起源 120 の様々な実施形態を、図 2 a ~ 図 4 b に示す。発光を最大限にするために、デバイス 110 は、MCPCB 122 の表面及び円筒壁 116 の内側曲面をそれぞれ覆う光反射面 124 及び 126 を更に含み得る。

10

【0046】

デバイス 110 は、励起源 120 に対して遠隔に配置され、励起源 120 によって生成された励起光の一部を吸収し、フォトルミネセンスのプロセスによって異なる波長の光に変換するように動作可能なフォトルミネセンス波長変換構成要素 128 を更に含む。デバイス 110 の発光生成物は、広帯域青色励起源 120 によって生成された複合光と、フォトルミネセンス波長変換構成要素 128 によって生成されたフォトルミネセンス光と、を含む。フォトルミネセンス波長変換構成要素は、黄色蛍光体、赤色蛍光体、及び/又は緑色蛍光体の混合物を含む光透過性材料 (例えば、ポリカーボネート、アクリル材料、シリコン材料など) から形成され得る。更に、いくつかの実施形態では、フォトルミネセンス波長変換構成要素は、蛍光体材料でコーティングされている光透過性基板から形成され得る。波長変換構成要素 128 は、励起源 120 に対して遠隔に位置付けられ、励起源から空間的に分離される。本特許明細書では、「遠隔に」及び「遠隔」とは、離間された、すなわち分離された関係を意味する。典型的には、波長変換構成要素及び励起源は空気によって分離されるが、他の実施形態では、これらは、例えば光透過性シリコン又はエポキシ材料など好適な光透過性媒体によって分離され得る。波長変換構成要素 128 は、ランプによって放出される全ての光が波長構成要素 128 を通過するように、ハウジング開口部を完全に覆うように構成されている。図示するように、波長変換構成要素 128 は、頂部 118 を使用して壁部分 116 の頂部に取り外し可能に取り付けられ得、ランプの構成要素及び発光色を容易に変更することができる。

20

30

【0047】

図 2 a は、本発明の一実施形態による広帯域青色固体励起源 220 の概略図である。広帯域青色固体励起源 220 は、420 nm ~ 470 nm、すなわち可視スペクトルの青色領域内の主波長を有する広帯域青色励起光を生成するように構成されている。この実施形態では、広帯域青色励起光はまた、25 nm ~ 50 nm の FWHM を有する。本発明の一実施形態によると、広帯域青色固体励起源 220 は、第 1 の固体光源 230 及び第 2 の固体光源 232 を含み得、この実施例では、これらは狭帯域青色 LED チップ (例えば、青色発光 GaN 系 LED チップ) である。第 1 の固体光源 230 は、420 nm ~ 470 nm の第 1 の主波長 λ_1 を有する青色発光を生成し、第 2 の固体光源 232 は、420 nm ~ 470 nm の第 2 の主波長 λ_2 を有する青色発光を生成する。第 1 及び第 2 の固体光源は、光源で生成される光の主波長が異なる (すなわち、 λ_1 は λ_2 とは異なる) ように選択される。第 1 及び第 2 の固体光源 230 / 232 からの光の組み合わせは、広帯域青色固体励起源 220 の広帯域青色励起光出力 242 を構成し、420 nm ~ 470 nm の主波長を有し、25 nm ~ 50 nm の FWHM を有する。他の実施形態では、固体励起源は、単一の固体光源を含み得ることが理解されるであろう。本明細書において、単一の固体光源は、1 個以上の固体光源として定義され、これらの光源のそれぞれは、同一 (すなわち単一/単独) の主波長及び少なくとも 25 nm の FWHM を有する光を生成する。

40

【0048】

図 2 a に示すように、広帯域青色固体励起源 220 は、第 1 及び第 2 の固体光源が、基板 234 の上面にフリップチップ結合されている表面実装型デバイス (surface mountab

50

le device、SMD)、例えばSMD 2835 LEDパッケージなどを含み得る。電気接点236、238は、励起源を動作させるために、基板234の底面に設けられ得る。第1及び第2の固体光源230、232は、例えばシリコン又はエポキシ材料など光透過型光学封止材240で封止され得る。

【0049】

図2bは、本発明の一実施形態による広帯域青色固体励起源220の概略図である。固体励起源220は、420nm~470nm、すなわち可視スペクトルの青色領域内の主波長を有する励起光を生成するように構成されている。この実施形態では、励起光はまた、25nm~50nmのFWHMを有する。本発明の一実施形態によると、固体励起源220は広帯域固体光源241を含み、この広帯域固体光源は、この例では、例えば、Appl. Phys. Lett. 75, 1494 (1999) Tran C A et al. 「Growth of InGaN multiple-quantum-well blue light-emitting diodes on silicon by metal organic vapor phase epitaxy」に開示されるように、多量子井戸(MQW)を備えた活性領域を有するInGaN/GaN青色LEDなど単一の広帯域LEDである。広帯域固体光源241は、420nm~470nmのピーク波長の複数の重複青色発光を含む広帯域青色光を生成する。したがって、単一の固体光源241は、単一/単独の主波長を有し、かつ少なくとも25nmのFWHMを有する光を生成する。

【0050】

図2bに示すように、固体励起源220は、固体光源が、基板234の上面にフリップチップ結合されている表面実装型デバイス(SMD)、例えばSMD 2835 LEDパッケージなどを含み得る。電気接点236、238は、励起源を動作させるために、基板234の底面に設けられ得る。固体光源241は、例えばシリコン又はエポキシ材料など光透過型光学封止材240で封止され得る。

【0051】

パッケージ化フルスペクトル白色発光デバイス

【0052】

図3aは、本発明の一実施形態によるパッケージ化フルスペクトル白色発光デバイス310aの概略断面図である。デバイス310aは、1800K~6800KのCCT(相関色温度)を有するフルスペクトル白色光を生成するように構成されている。

【0053】

本発明のいくつかの実施形態によると、デバイス310aは、パッケージ344内に収容された、例えば、青色発光GaN(gallium nitride、窒化ガリウム)系LEDチップなど第1及び第2の固体光源330、332で構成される広帯域青色固体励起源を含む。上記と同様/同一に、第1の固体光源330は、420nm~470nmの第1の主波長 d_1 を有する青色発光を生成し得、第2の固体光源332は、420nm~470nmの範囲内に第2の主波長 d_2 を有する青色発光を生成し得る。第1の固体光源の主波長 d_1 は、第2の固体光源の主波長 d_2 とは異なる。パッケージは、例えば、上部346及び基部348を含む、表面実装型デバイス(SMD)2835 LEDパッケージなどSMDを含み得る。上本体部346は、固体光源330、332を受容するように構成されている凹部350を画定する。パッケージ344は、パッケージ344の基部の外面に電気コネクタ352及び354を更に含み得る。電気コネクタ352、354は、凹部350の床上の電極接触パッド356、358、及び360に電氣的に接続することができる。接着剤又ははんだを使用して、固体光源(LEDチップ)330、332を、凹部350の床に配置された熱伝導パッド362に取り付けることができる。LEDチップの電極パッドは、ボンドワイヤ362を使用して、パッケージ344の床上の対応する電極接触パッド356、358、及び360に電氣的に接続することができる。あるいは、LEDチップは、パッケージにフリップチップ取り付けされ、電氣的に接続され得る。凹部350には、LEDチップ330、332の露出面がフォトルミネセンス/

10

20

30

40

50

シリコン材料の混合物によって覆われるように、フォトルミネセンス材料の混合物が含まれている光透過型光学封止材 364、典型的には光学的に透明なシリコンが充填されている。デバイスの発光輝度を高めるために、凹部 350 の壁を傾斜させ、光反射面を有することができる。当然ながら、他の実施形態では、1 個以上の固体光源 (LED チップ 330、332) は、同一の (すなわち単一 / 単独の) 主波長を有し、かつ少なくとも 25 nm の FWHM を有する光をそれぞれ生成することが理解されるであろう。

【0054】

図 3 b は、本発明の別の実施形態である。これは、第 1 及び第 2 の狭帯域固体光源が、多重量子井戸を備えた活性領域を有する、2 個の広帯域青色 LED 341 a / 341 b に置き換えられていることを除いて、図 3 a と同様である。典型的には、第 1 及び第 2 の広帯域青色固体光源 341 a / 341 b は、同一主波長 λ_d を有する広帯域青色励起光をそれぞれ生成する。

10

【0055】

図 4 a 及び図 4 b は、本発明の一実施形態による、チップオンボード (Chip On Board、COB) パッケージ化フルスペクトル白色発光デバイス 410 を示しており、図 4 a は平面図であり、図 4 b は B - B を通る断面図である。デバイス 410 は、2500 K ~ 5000 K の CCT (相関色温度) 及び 95 超の CRI (演色評価数) を有する暖色系白色光を生成するように構成され得る。

【0056】

デバイス 410 は、正方形の MCPCB 468 と熱連通するように取り付けられた、複数 (図 4 a の例では 12 個) の広帯域青色固体励起源 420、例えば広帯域青色発光 GaN (窒化ガリウム) 系 LED フリップチップダイを含む。

20

【0057】

図 4 a に示すように、励起源 420 は、一般に円形のアレイとして構成され得る。固体励起源 (広帯域 LED ダイ) 420 は、440 nm ~ 455 nm の主波長 λ_d を有する励起光をそれぞれ生成し得る。この実施形態では、励起光は、25 nm ~ 50 nm の FWHM (完全幅半値) を有する。電気接点 472、474 は、白色発光デバイス 410 を動作させるために MCPCB 468 の上面に設けられ得る。示すように、広帯域 LED フリップチップダイ 420 は、LED ダイ 420 の露出面がフォトルミネセンス / シリコン材料混合物によって覆われるように、フォトルミネセンス材料の混合物が含まれている光透過型光学封止材 466、例えばシリコン又はエポキシ材料などで封止されている。示すように、光透過型封止材 / 光ルミネセンス材料混合物 466 は、環状壁 470 内に収容され得る。当然のことながら、他の実施形態では、図 4 a 及び図 4 b に示す装置が、多重量子井戸を備えた活性領域を有する単一の広帯域 InGaIn / GaN 青色 LED ではなく、2 つ以上の LED で構成される固体励起源 420 を含み得ることが理解されるであろう。

30

【0058】

緑色 ~ 黄色フォトルミネセンス材料

【0059】

本明細書では、広帯域緑色 ~ 黄色フォトルミネセンス材料とは、約 490 nm ~ 約 570 nm、すなわち、可視スペクトルの黄色 ~ 緑色波長領域内のピーク発光波長 (λ_{pe}) を有する光を生成する材料を指す。好ましくは、緑色 ~ 黄色フォトルミネセンス材料は、広い発光特性を有し、好ましくは、約 100 nm 以上の FWHM (半値全幅) を有する。緑色 ~ 黄色フォトルミネセンス材料は、任意のフォトルミネセンス材料、例えば、ガーネット系無機蛍光体材料、ケイ酸塩蛍光体材料、及び酸窒化物蛍光体材料などを含み得る。好適な緑色 ~ 黄色蛍光体の例を、表 1 に示す。

40

【0060】

いくつかの実施形態では、緑色 ~ 黄色フォトルミネセンス材料は、一般組成 $Y_3(A1, Ga)5O_{12} : Ce(YAG)$ のセリウム活性イットリウムアルミニウムガーネット蛍光体を含み、例えば、527 nm ~ 543 nm のピーク発光波長及び約 120 nm の FWHM を有する、Intematix Corporation (Fremont Cali

50

fornia, USA)製のYAGシリーズ蛍光体が挙げられる。本明細書において、YAG#の表記は、蛍光体タイプ「YAG」系蛍光体に、ナノメートル(#)でのピーク発光波長がその後に続くものを表している。例えば、YAG535は、535nmのピーク発光波長を有するYAG蛍光体を示す。緑色～黄色フォトルミネセンス材料は、一般組成 $(Y, Ba)_3(Al, Ga)_5O_{12}:Ce(YAG)$ のセリウム活性イットリウムアルミニウムガーネット蛍光体を含み得、例えば、Intematix Corporation(Fremont California, USA)製のGNYAGシリーズ蛍光体が挙げられる。いくつかの実施形態では、緑色フォトルミネセンス材料は、一般組成 $Lu_3Al_5O_{12}:Ce(GAL)$ のアルミン酸塩(LuAG)蛍光体を含み得る。そのような蛍光体の例としては、例えば、ピーク発光波長が516nm～560nm、かつFWHMが約120nmのIntematix Corporation(Fremont California, USA)から入手可能なGalシリーズ蛍光体が挙げられる。本明細書において、表記GAL#は、蛍光体のタイプ(GAL)「LuAG」系蛍光体及びその後に続くナノメートル(#)でのピーク発光波長を表す。例えば、GAL520は、520nmのピーク発光波長を有するGAL蛍光体を示す。

10

【0061】

緑色～黄色ケイ酸塩蛍光体の例としては、507nm～570nmのピーク発光波長と、約70nm～約80nmのFWHMとを有する、一般組成 $(Ba, Sr)_2SiO_4:Eu$ のユーロピウム活性化オルソケイ酸塩蛍光体、例えば、Intematix Corporation(Fremont California, USA)製のG、EG、Y、及びEYシリーズ蛍光体が挙げられる。

20

【0062】

いくつかの実施形態では、緑色～黄色蛍光体は、その全体が本明細書に組み込まれている「Green-Emitting(Oxy)Nitride-Based Phosphors And Light Emitting Devices Using The Same」と題する米国特許第8,679,367号に教示されている緑色発光窒化物蛍光体を含み得る。そのような緑色発光酸窒化物(ON)蛍光体は、一般組成 $Eu^{2+}:M^{2+}Si_4AlO_xN(7-2x/3)$ (式中、 $0.1 < x < 1.0$ であり、 M^{2+} は、Mg、Ca、Sr、Ba、及びZnからなる群から選択される1つ以上の二価金属である)を有し得る。本明細書において、ON#の表記は、蛍光体タイプ「酸窒化物」に、ナノメートル(#)でのピーク発光波長(λ_{pe})がその後に続くものを表している。例えば、ON495は、495nmのピーク発光波長を有する緑色酸窒化物蛍光体を示す。

30

【表1】

表1		
緑色～黄色フォトルミネセンス材料の例		
蛍光体	一般組成	波長 λ_{pe} (nm)
YAG (YAG#)	$Y_{3-x}(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}:Ce_x$	$0.01 < x < 0.2$, かつ $0 < y < 2.5$
GNYAG (YAG#)	$(Y, Ba)_{3-x}(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}:Ce_x$	$0.01 < x < 0.2$, かつ $0 < y < 2.5$
LuAG(GAL#)	$Lu_{3-x}(Al_{1-y}M_y)_5O_{12}:Ce_x$	$0.01 < x < 0.2$, かつ $0 < y < 1.5$ $M=Mg, Ca, Sr, B, Ga$
LuAG(GAL#)	$Lu_{3-x}(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}:Ce_x$	$0.01 < x < 0.2$, かつ $0 < y < 1.5$
ケイ酸塩	$A_2SiO_4:Eu$	$A=Mg, Ca, Sr, Ba$
ケイ酸塩	$(Sr_{1-x}Ba_x)_2SiO_4:Eu$	$0.3 < x < 0.9$

40

【0063】

橙色～赤色フォトルミネセンス材料

【0064】

橙色～赤色フォトルミネセンス材料は、青色光によって励起可能であり、約600nm～約670nmのピーク発光波長 λ_{pe} を有する光を放出するように動作可能である、任意の橙色～赤色フォトルミネセンス材料、典型的には蛍光体を含み得、例えば、ユーロピ

50

ウム活性化シリコン窒化物系蛍光体、 -SiAlON 、IIA/IIIB族硫セレン化物系蛍光体、又はケイ酸塩系蛍光体を含み得る。橙色～赤色蛍光体の例を表2に示す。

【0065】

いくつかの実施形態では、ユーロピウム活性化シリコン窒化物系蛍光体は、一般式 $\text{CaAlSiN}_3 : \text{Eu}^{2+}$ などの他の元素でドーピングすることができる。CASN蛍光体は、ストロンチウム(Sr)、一般式 $(\text{Sr}, \text{Ca})\text{AlSiN}_3 : \text{Eu}^{2+}$ などの他の元素でドーピングすることができる。本明細書において、CASN#の表記は、蛍光体タイプ「CASN」に、ナノメートル(#)でのピーク発光波長(λ_{pe})がその後続くものを表している。例えば、CASN615は、615nmのピーク発光波長を有する橙色～赤色CASN蛍光体を示す。

10

【0066】

一実施形態では、橙色～赤色蛍光体は、その全体が本明細書に組み込まれる「Red-Emitting Nitride-Based Calcium-Stabilized Phosphors」と題する米国特許第8,597,545号に教示されているように、橙色～赤色発光蛍光体を含み得る。このような赤色発光蛍光体は、化学式 $\text{M}_a\text{Sr}_b\text{Si}_c\text{Al}_d\text{N}_e\text{Eu}_f$ (式中、MはCaであり、 $0.1 \leq a \leq 0.4$ であり、 $1.5 \leq b \leq 2.5$ であり、 $4.0 \leq c \leq 5.0$ であり、 $0.1 \leq d \leq 0.15$ であり、 $7.5 < e < 8.5$ 及び $0 < f < 0.1$ であり、 $a + b + f > 2 + d/v$ であり、vは、Mの価数である)で表される窒化物系組成物を含む。

【0067】

あるいは、橙色～赤色蛍光体は、その全体が本明細書に組み込まれる「Red-Emitting Nitride-Based Phosphors」と題する米国特許第8,663,502号に教示されているように、橙色～赤色発光窒化物系蛍光体を含むことができる。そのような赤色発光蛍光体は、化学式 $\text{M}(\lambda/v)\text{M}'_2\text{Si}_{5-x}\text{Al}_x\text{N}_8 : \text{RE}$ (式中、Mは、原子価vを有する少なくとも1つの一価、二価又は三価の金属であり、M'は、Mg、Ca、Sr、Ba、及びZnのうちの少なくとも1つであり、REは、Eu、Ce、Tb、Pr、及びMnのうちの少なくとも1つであり、xは $0.1 \leq x \leq 0.4$ を満たし、当該赤色発光蛍光体は、 $\text{M}'_2\text{Si}_5\text{N}_8 : \text{RE}$ の一般結晶構造を有し、Alは、当該一般結晶構造内のSiの代わりとなり、Mは、実質的に格子間部位にある当該一般結晶構造内に位置する)で表される窒化物系組成物を含む。そのような蛍光体の一例は、約610nmのピーク発光波長を有するIntematix Corporation, Fremont California, USAから入手可能なXR610赤色窒化物蛍光体である。

20

30

【0068】

橙色～赤色蛍光体はまた、IIA/IIIB族硫セレン化物系蛍光体も含み得る。グループIIA/IIIBのセレン化物硫化物系蛍光体材料の第1の例は、組成式 $\text{MSe}_{1-x}\text{S}_x : \text{Eu}$ (式中、Mは、Mg、Ca、Sr、Ba及びZnのうちの少なくとも1つであり、 $0 < x < 1.0$ である)を有する。この蛍光体材料の具体例は、CSS蛍光体 ($\text{CaSe}_{1-x}\text{S}_x : \text{Eu}$)である。CSS蛍光体の詳細は、2016年9月30日に出願された同時係属中の米国特許出願公開第2017/0145309号に提供されており、その全体が参照により本明細書に組み込まれている。米国特許出願公開第2017/0145309号に記載されているCSS橙色～赤色蛍光体を、本発明で使用することができる。CSS蛍光体の発光ピーク波長は、組成中のS/Se比を変更することにより、600nm～650nmに調整することができ、約48nm～約60nm(より長いピーク発光波長は、典型的により大きいFWHM値を有する)のFWHMを有する狭帯域赤色発光スペクトルを示す。本明細書において、CSS#の表記は、蛍光体タイプ「CSS」に、ナノメートルでのピーク発光波長(#)がその後続くものを表している。例えば、CSS615は、615nmのピーク発光波長を有するCSS蛍光体を示す。信頼性を改善するために、CSS蛍光体粒子は、1つ以上の酸化物、例えば、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化ケイ素(SiO_2)、酸化チタン(TiO_2)、酸化亜鉛(ZnO)、酸化マグネシ

40

50

ウム (MgO)、酸化ジルコニウム (ZrO₂)、酸化ホウ素 (B₂O₃)、又は酸化クロム (CrO) でコーティングされ得る。あるいは、及び/又は加えて、狭帯域赤色蛍光体粒子は、1つ以上のフッ化物、例えば、フッ化カルシウム (CaF₂)、フッ化マグネシウム (MgF₂)、フッ化亜鉛 (ZnF₂)、フッ化アルミニウム (AlF₃)、又はフッ化チタン (TiF₄) でコーティングされ得る。コーティングは、単層、又は前述のコーティングの組み合わせを有する多層であり得る。組み合わせコーティングは、第1の材料と第2の材料との間の急激な遷移を有するコーティングであり得る、又は第1の材料から第2の材料への漸進的/平滑な遷移が存在するコーティングであり得、このため、コーティングの厚さを通して変化する混合組成を有するゾーンを形成する。

【0069】

いつかの実施形態では、橙色～赤色蛍光体は、その全体が本明細書に組み込まれる「Silicate-Based Orange Phosphors」と題する米国特許第7,655,156号に教示されているような橙色発光ケイ酸塩系蛍光体を含むことができる。このような橙色発光ケイ酸塩系蛍光体は、一般組成式 (Sr_{1-x}M_x)_yEu_zSiO₅ (式中、0 < x ≤ 0.5、2.6 ≤ y ≤ 3.3、0.001 ≤ z ≤ 0.5であり、Mは、Ba、Mg、Ca、及びZnからなる群から選択される1つ以上の二価金属である) を有することができる。本明細書において、O#の表記は、蛍光体タイプ「橙色ケイ酸塩」に、ナノメートル (#) でのピーク発光波長 (λ_{pe}) がその後続くものを表している。例えば、O600は、600nmのピーク発光波長を有する橙色ケイ酸塩系蛍光体を示す。

【表2】

表2			
橙色～赤色フォトルミネセンス材料の例			
蛍光体	一般組成		波長 λ _{pe} (nm)
CASN(CASN#)	(Ca _{1-x} Sr _x)AlSiN ₃ :Eu	0.5 < x ≤ 1	600~660
258窒化物	Ba _{2-x} Sr _x Si ₅ N ₈ :Eu	0 ≤ x ≤ 2	580~630
IIA/IIB族硫セレン化物 (CSS#)	MSe _{1-x} S _x :Eu	M=Mg, Ca, Sr, Ba, Zn 0 < x < 1.0	600~650
CSS(CSS#)	CaSe _{1-x} S _x :Eu	0 < x < 1.0 M=Ba, Mg, Ca, Zn	600~650
ケイ酸塩(O#)	(Sr _{1-x} M _x) _y Eu _z SiO ₅	0 < x ≤ 0.5 2.6 ≤ y ≤ 3.3 0.001 ≤ z ≤ 0.5	565~610

【0070】

1800K～6800Kフルスペクトル白色発光デバイス

【0071】

上記のように、本発明のいくつかの実施形態は、具体的には、ただし非限定的に、例えばCAF(概日作用因子)によって測定されるように、ヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける、可視スペクトルの青色～シアン波長領域(430nm～520nm)において自然光に酷似するフルスペクトル白色光を生成するフルスペクトル白色発光デバイスに関する。他の態様によると、本発明は、約430nm～約520nmの範囲の波長の自然光に近いスペクトルを維持しつつ、フルスペクトル白色発光デバイスの効率を改善することに関する。本発明者らは、スペクトルの赤色領域に対応する波長で光強度(光子カウント)を最適化(低減)することによって、具体的には、CRI R9(「飽和赤色」)及びCRI R8(「赤みがかった紫色」)の値に影響を与える波長で光強度を低減することによってフルスペクトル白色発光デバイスの効率を改善することができることを発見した。そのような効率の改善は、約645nm～約695nmの波長において最大強度の半分に減少する(低下する)強度ロールオフ(テール)を、可視スペクトルの橙色～赤色波長領域において有するフルスペクトル白色光をデバイスが生成するように、ピーク発光波長/FWHMが選択された、橙色～赤色フォトルミネセンス材料を含めることによって達成され得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 2 】

図 5 は、(A) (i) 狭帯域励起源を用いる、既知のフルスペクトル発光デバイス、A と示されるスペクトル (点線)、(i i) 広帯域励起源を用いる、本発明によるフルスペクトル発光デバイス、B と示されるスペクトル (細い実線)、(i i i) スペクトル A 及び B の C C T と名目上同一である C C T についての黒体曲線 (b b c) (破線)、に対する強度スペクトル、正規化強度 I 対波長 (n m)、並びに (B) 概日作用スペクトル (C A S) (太い実線)、相対量子感度対波長 (n m) を示す。この図は、本特許明細書で使用される様々なパラメータを定義し、本発明の原理を示す。

【 0 0 7 3 】

図 5 を参照すると、スペクトル概日効率関数 $c ()$ と呼ばれる概日作用スペクトル (C A S) は、光に対するヒトの非視覚的相対感度を表す。 $c ()$ の最大感度は、460 nm の波長で生じる。C A S は、メラトニン分泌を調節する概日入力を提供するためには、スペクトルの 430 nm ~ 520 nm の部分が最も重要な波長であることを示唆している。

【 0 0 7 4 】

スペクトル A を黒体曲線 (b b c) と比較すると、スペクトル A はピーク 580 を示し、このピークは、b b c の強度から大きく逸脱する (すなわち、ピーク強度は、同一波長の b b c の強度よりも著しく高い) 強度を有する、狭帯域励起源によって生成された励起光に対応することに気付くであろう。比較すると、スペクトル B は 2 つのピーク 582、584 を示し、これらのピークは、スペクトル A と比較して、b b c の強度からごくわずかに逸脱する (すなわち、ピーク強度は、同一波長の b b c よりもわずかに高い) 強度を有する、広帯域励起源によって生成された励起光に対応する。ピーク 580 は、460 nm の波長での C A S の最大感度に近い 455 nm の波長で生じることに更に気付くであろう。更に、スペクトル A は、最小強度が b b c の最小強度から著しく逸脱する (すなわち、トラフ強度は b b c よりも著しく低い) トラフ (谷) 586 を示すことに気付くであろう。比較すると、スペクトル B は、最小強度が、スペクトル A と比較して、b b c の最小強度からごくわずかに逸脱する (すなわち、トラフ強度は b b c よりもわずかに低い)、トラフ (谷) 588 を示す。図から分かるように、(スペクトル A のピーク 584 と比較して) スペクトル B の発光ピーク 582 及び 584 の逸脱は小さく、(スペクトル A のトラフ 586 と比較して) b b c からのスペクトル B のトラフ 588 の逸脱が小さいほど、スペクトル B は、430 nm ~ 520 nm の波長範囲 (青色 ~ シアン) にわたって b b c (プランキアンスペクトル) に酷似することを示す。スペクトル B は、C A F (概日作用因子) によって測定されるヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける、この波長領域にわたって自然光に酷似し、このことは、ヒトの健康に有益であることが更に理解されるであろう。

【 0 0 7 5 】

スペクトルが b b c に酷似する程度を定量化するための測定基準は、同一相関色温度の b b c の色強度からの最大 (最高) 強度偏差率 (I_{maxdev}) である。すなわち、約 430 nm ~ 520 nm の波長範囲にわたって、 I_{maxdev} は、スペクトルの強度と b b c の強度との間の最大 (最高) 強度差率である。最大偏差は、正 (スペクトル強度が b b c よりも大きいピークなど) 又は負 (スペクトル強度が b b c 未満であるトラフなど) であり得る。スペクトルの有意な比較を行うために、各スペクトルは、同一の C I E 1931 X Y Z 相対輝度 Y を有するように正規化される。スペクトルは、観察者の明所視 (視覚) 反応を考慮し、同一相関色温度のための標準的な観察者の明所視感度関数 $y ()$ (明所視又は視覚発光効率関数 () と呼ばれることもある) を使用して正規化される。したがって、 I_{maxdev} は、約 430 nm ~ 520 nm の波長範囲にわたる、スペクトルの正規化強度と、b b c の正規化強度との間の最大 (最高) 強度差率である。 I_{maxdev} は、以下のように定義される。

【 数 1 】

10

20

30

40

50

$$I_{\text{maxdev}} = \left[\frac{\lambda_{\text{maxdev}} \text{におけるスペクトルの強度} \times 100}{\lambda_{\text{maxdev}} \text{におけるbbcの強度}} \right] - 100$$

【0076】

例えば、図5を参照すると、スペクトルAの場合、bbcからのスペクトルの最大偏差は、波長 $\lambda_{\text{maxdev}} = 455 \text{ nm}$ のピーク580に対応する。 λ_{maxdev} でのスペクトル強度は590と示され、 λ_{maxdev} でのbbcの強度は592と示される。したがって、上記の計算を使用すると、約430nm～約520nmの波長範囲にわたって、スペクトルAは、95%の最大強度偏差率 I_{maxdev} を有する。すなわち、最大強度偏差率において、波長 λ_{maxdev} でのスペクトルAの正規化強度は、同一波長でのbbcの正規化強度の195%である。対照的に、スペクトルBは、わずか30%の（ピーク582に対応する）最大強度偏差率 I_{maxdev} を有する。すなわち、波長 λ_{maxdev} でのスペクトルAの正規化強度は、この波長でのbbcの正規化強度の130%である。

10

【0077】

ロールオフ波長 (R_{O}) は、正規化強度 (I) が、スペクトルの橙色～領域の最大強度 (I_{max} と示す) からその最大強度の半分 ($1/2 I_{\text{max}}$ と示す) に低下する波長として定義される。上記のように、スペクトルのこの波長領域内の最大強度 I_{max} は、フォトルミネセンス変換光に対応し、最大強度は、約570nmよりも長い波長で生じる。例えば、最大強度は、約590nm～約620nmの範囲の波長で生じ得る。

20

【0078】

パッケージ化白色発光デバイスの試験方法

【0079】

パッケージ化試験方法は、積分球におけるパッケージ化白色発光デバイス (図3a) の全発光を測定することを含む。

【0080】

本発明によるパッケージ化フルスペクトル白色発光デバイス (Dev.#) は、主波長 $d_1 = 443 \text{ nm}$ 、 $d_2 = 451 \text{ nm}$ 、及び $d_3 = 457 \text{ nm}$ の3個の1133 (11mil x 33mil) LEDチップを含む、2835 (2.8mm x 3.5mm) SMDパッケージをそれぞれ含む。

30

【0081】

本明細書では、白色発光デバイスを示すために以下の命名法が使用される。すなわち、Com.#は、各励起源が単一主波長の1つ以上の固体光源を含む比較発光デバイスを示し、Dev.#は、各励起源が2つの異なる主波長の固体光源を含む、本発明の実施形態による発光デバイスを示す。

【0082】

2700Kフルスペクトル白色発光デバイスの試験データ

【0083】

表3、表4、及び表5は、2700K白色発光デバイスDev.1、Dev.2及び既知のCRI90比較デバイスCom.1について測定された光学試験データを表にしたものであり、青色及びシアンスペクトル成分を維持しつつ、赤色スペクトル成分を低減させる効率に対する影響を示す。

40

【0084】

発光デバイスDev.1及びDev.2は、主波長が $d_1 = 443 \text{ nm}$ 、 $d_2 = 451 \text{ nm}$ 、及び $d_3 = 457 \text{ nm}$ である3個のLEDチップを含む2835パッケージをそれぞれ含む。Dev.1は、GAL520蛍光体とCASN650蛍光体との組み合わせを含み、Dev.2は、GAL520蛍光体、GAL530蛍光体、CASN625蛍光体、及びCASN650蛍光体の組み合わせを含む。CASN625とCASN650との組み合わせは約628nmのピーク発光を生成し、波長は、CASN625対CASN650の相対的比率に応じて異なる。比較デバイスCom.1は、狭帯域励起源を用い

50

、90の公称CRI Raを有する、既知の2835パッケージ化白色発光デバイスを含む。

【0085】

図6は、(i) Dev. 1 (実線)、(ii) Dev. 2 (太い破線)、(iii) Com. 1 (点線)、並びに(iv) Dev. 1、Dev. 2、及びCom. 1と名目上同一である2700KのCCTのプランキアンスペクトル(細い破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝度 $Y = 100$ に正規化)対波長(nm)を示す。スペクトルの意味の有意な比較を行うために、各スペクトルは、それぞれがCIE 1931 XYZ相対輝度 $Y = 100$ を有するように正規化されている。データは、観察者の明所視反応を考慮する、標準的な観察者のCIE 1931明所視感度関数 $y(\lambda)$ を使用して正規化される。図6のプランキアンスペクトル(曲線)、つまり黒体曲線は、所与の色温度(CCT)について100に等しい一般CRI Raのスペクトルを表す。したがって、所与の色温度の白色発光デバイスが、可能な限り高い演色を有するためには、その発光スペクトルが、同一色温度の黒体スペクトルに可能な限り厳密に一致するべきである。

10

【0086】

図6を参照すると、本発明によるデバイスDev. 1及びDev. 2(広帯域幅励起源を含む)の発光スペクトルエネルギー含有量に対する効果は、比較デバイスCom. 1(狭帯域励起源を含む)と比較して、それぞれ約430nm及び440nmでの青色発光ピーク682の強度で著しく低下することに気付くであろう。図から分かるように、デバイスDev. 1及びDev. 2の青色発光ピーク682の低下(Com. 1のピーク680と比較して)は、波長範囲430nm~520nm(青色~シアン)にわたって、プランキアンスペクトルにより酷似する(つまり、太陽光により酷似する)発光スペクトルをもたらす。より具体的には、スペクトルの分析は、波長範囲430nm~520nm(青色~シアン)にわたって、デバイスDev. 1及びDev. 2により放出された正規化光強度と同一相対色温度(2700K)の黒体曲線(bbc)の正規化光強度との間には、約60%の最大正規化強度偏差率 $I_{max dev}$ が存在することを示す。すなわち、Dev. 1及びDev. 2は、同一波長においてbbcの光強度の160%である強度を有する光をそれぞれ生成する。正規化強度の最大偏差は、それぞれ約430nm及び約440nmの波長 $\lambda_{max dev}$ で生じる。これは、約450nmの波長 $\lambda_{max dev}$ で、約80%の正規化強度における最大偏差率 $I_{max dev}$ を示す白色光を生成する、既知の比較デバイスCom. 1(狭帯域励起光源を用いる)と比較されるべきである。

20

30

【0087】

したがって、当然のことながら、デバイスDev. 1及びDev. 2は、CAF(概日作用因子)によって測定されるヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける、この波長領域にわたって自然光により酷似する白色光を生成し、このことは、ヒトの健康に有益であり得る。スペクトルのシアン領域内のトラフを少なくとも部分的に充填し、青色領域内のピークオーバーシュートを低減する広帯域青色励起源を用いることにより生じる、スペクトルエネルギー含有量のこの変化は、本発明のデバイスの優れた演色特性の主な原因であると考えられる。表3から分かるように、デバイスDev. 1及びDev. 2は、自然光のCAFのそれぞれ1.9%及び0.8%以内のCAFを有する白色光を生成する(CCT 2700Kのbbc)。比較すると、比較デバイスCom. 1は、自然光のCAFの3.8%以内のCAFを有する。

40

【0088】

ここで、スペクトルの橙色~赤色波長領域(すなわち、約570nmよりも長い波長)におけるスペクトルの強度ロールオフ(テール)について検討する。Dev. 1では、最大ピーク強度($I_{max Dev. 1}$)は約8.2であり、これは約640nmの波長で生じる。強度(I)は、約690nmの波長($R_{O Dev. 1}$)で、この値の半分($1/2 I_{max Dev. 1}$)に低下する。

【0089】

50

Dev. 2では、最大ピーク強度 ($I_{max\ Dev. 2}$) は約7.6であり、これは約620nmの波長で生じる。強度 (I) は、約675nmの波長 ($\lambda_{RO\ Dev. 2}$) で、この値の半分 ($1/2 I_{max\ Dev. 2}$) に低下する。

【表3】

表3							
2700K白色発光デバイス—測定試験データ(bbc=黒体曲線)							
デバイス	効率 (lm/W)	効率(%)	最大偏差		λ_{RO} (nm)	CAF	CAF(%)
			I_{maxdev} (%)	λ_{maxdev} (nm)			
Com. 1	123	—	80	450	675	0.354	96.2
Dev. 1	104	100	60	440	690	0.361	98.1
Dev. 2	119	115	60	435	675	0.371	100.8
bbc	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.368	100.0

10

【表4】

表4									
2700K白色発光デバイス—測定試験データ									
デバイス	CIE演色CRI								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Com. 1	90.7	98.3	95.5	93.1	90.1	92.4	93.7	80.7	53.7
Dev. 1	97.7	99.0	93.7	93.7	97.3	99.4	96.8	97.2	98.2
Dev. 2	99.1	99.3	98.1	96.5	98.1	94.9	93.9	86.6	69.6

20

【表5】

表5							
2700K白色発光デバイス—測定試験データ							
デバイス	CIE演色CRI						
	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Ra
Com. 1	84.2	94.0	79.7	91.0	96.7	85.9	91.2
Dev. 1	96.6	91.2	95.2	98.5	95.5	98.4	96.9
Dev. 2	98.1	91.0	89.5	99.3	98.9	93.1	95.8

30

【0090】

表3、表4、及び表5を参照すると、デバイスDev. 1は、104lm/Wの効率を有すること、また、95以上(96.9)のCRI Raを有する白色光を生成し、CRI R1~CRI R15のそれぞれは90以上(91.2~99.0)であることに気付くであろう。比較すると、デバイスDev. 2は、119lm/Wの効率を有し、95以上(95.8)のCRI Raを有する白色光を生成し、CRI R1~CRI R7及びCRI R10~CRI R15は約90以上(89.5~99.3)であるが、CRI R8(「赤みがかった紫色」に対応する)は72超かつ90未満(86.6)未満であり、また、CRI R9(「飽和赤色」に対応する)は、50超かつ90未満(69.6)である。更に、Dev. 2で生成される光の質は、Dev. 1の光の質と概ね同一であるが、効率が大幅に(約15%、104lm/Wから119lm/Wへ)増加することに気付くであろう。

40

【0091】

図6及び表3から当然分かるように、Dev. 1と比較してDev. 2の効率が增加することは、スペクトルの赤色波長領域における光強度を低減する、Dev. 1の波長(690nm)よりも短い波長(675nm)で生じるDev. 2のスペクトルロールオフの直接的な結果である。

【0092】

3000Kフルスペクトル白色発光デバイスの試験データ

50

【 0 0 9 3 】

表 6、表 7、及び表 8 は、3 0 0 0 K 白色発光デバイス Dev . 3 ~ Dev . 5、並びに既知の 3 0 0 0 K C R I 9 0 及び C R I 8 0 比較デバイス Com . 2 及び Com . 3 について測定された光学試験データを表にしたものであり、青色及びシアンスペクトル成分を維持しつつ、赤色スペクトル成分を低減させる効率に対する影響を示す。

【 0 0 9 4 】

発光デバイス Dev . 3 ~ Dev . 5 は、主波長が $\lambda_1 = 4 4 3 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 4 5 1 \text{ nm}$ 、及び $\lambda_3 = 4 5 7 \text{ nm}$ である 3 個の LED チップを含む 2 8 3 5 パッケージをそれぞれ含む。Dev . 3 は、G A L 5 2 0 蛍光体と C A S N 6 5 0 蛍光体との組み合わせを含み、デバイス Dev . 4 及び Dev . 5 は、G A L 5 2 0 蛍光体、G A L 5 3 0 蛍光体、C A S N 6 2 5 蛍光体、及び C A S N 6 5 0 蛍光体の組み合わせを含み、Dev . 5 は、Dev . 4 よりも大きい C A S N 6 2 5 対 C A S N 6 5 0 の相対部分を含む (Dev . 4 における C A S N 6 2 5 と C A S N 6 5 0 との組み合わせは約 6 2 5 nm のピーク発光を生成し、Dev . 5 における組み合わせは、約 6 2 8 nm のピーク発光を生成する)。比較デバイス Com . 2 は、狭帯域励起源を用い、9 0 の公称 C R I R a を有する、既知の 2 8 3 5 パッケージ化白色発光デバイスを含む。Com . 3 は、狭帯域励起源を用い、8 0 の公称 C R I R a を有する、既知の 2 8 3 5 パッケージ化白色発光デバイスを含む。

10

【 0 0 9 5 】

図 7 a は、(i) Dev . 3 (実線)、(i i) Dev . 4 (太い破線)、(i i i) Dev . 5 (鎖線)、(i v) Com . 2 (点線)、並びに (v) Dev . 3、Dev . 4、Dev . 5、及び Com . 2 と名目上同一である 3 0 0 0 K の CCT のプランキアンスペクトル、つまり黒体曲線 (細い破線) に対する、強度スペクトル、正規化強度 (C I E 1 9 3 1 X Y Z 相対輝度 $Y = 1 0 0$ に正規化) 対波長 (nm) を示す。図 7 b は、(i) Dev . 4 (実線)、(i i) Com . 2 (点線)、並びに (i i i) Dev . 4 及び Com . 2 と名目上同一である 3 0 0 0 K の CCT のプランキアンスペクトル (破線) に対する、強度スペクトル、正規化強度 (C I E 1 9 3 1 X Y Z 相対輝度 $Y = 1 0 0$ に正規化) 対波長 (nm) を示す。図 7 c は、(i) Dev . 5 (実線)、(i i) Com . 3 (点線)、並びに (i i i) Dev . 5 及び Com . 3 と名目上同一である 3 0 0 0 K の CCT のプランキアンスペクトル (破線) に対する、強度スペクトル、正規化強度 (C I E 1 9 3 1 X Y Z 相対輝度 $Y = 1 0 0$ に正規化) 対波長 (nm) である。スペクトルの分析は、波長範囲 4 3 0 nm ~ 5 2 0 nm (青色 ~ シアン) にわたって、デバイス Dev . 3、Dev . 4、及び Dev . 5 により放出された光の正規化強度と同一相対色温度 (3 0 0 0 K) の黒体曲線の光の正規化強度との間には、約 4 0 %、約 5 0 %、及び約 6 0 % の最大正規化強度偏差率 $I_{\text{max dev}}$ が存在することを示す。これは、(約 4 5 0 nm の波長で) 正規化強度の約 7 0 % 及び 1 0 0 % の最大偏差率 $I_{\text{max dev}}$ をそれぞれ示す白色光を生成する、既知の比較デバイス Com . 2 及び Com . 3 (狭帯域励起源を用いる) と比較されるべきである。更に、表 6 から分かるように、デバイス Dev . 3、Dev . 4 及び Dev . 5 は、自然光の C A F のそれぞれ 3 . 4 %、4 . 1 %、及び 3 . 4 % 以内の C A F を有する白色光を生成する (CCT 3 0 0 0 K の b b c)。比較すると、比較デバイス Com . 2 及び Com . 3 は、自然光の C A F のそれぞれわずか 1 1 . 5 % 及び 9 . 5 % 以内の C A F を有する。

20

30

40

【 0 0 9 6 】

したがって、当然のことながら、デバイス Dev . 3、Dev . 4、及び Dev . 5 は、C A F (概日作用因子) 又はメラノピック比率 (Melanopic Ratio、MR) によって測定されるヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける、この波長領域にわたって自然光により酷似する白色光を生成し、このことは、ヒトの健康に有益であり得る。

【 0 0 9 7 】

ここで、スペクトルの橙色 ~ 赤色波長領域 (すなわち、約 5 7 0 nm よりも長い波長) におけるスペクトルの強度ロールオフ (テール) について検討する。Dev . 3 では、最

50

大ピーク強度 ($I_{maxDev.3}$) は約 7.3 であり、これは約 630 nm の波長で生じる。強度 (I) は、約 690 nm の波長 ($\lambda_{RODev.3}$) で、この値の半分 ($1/2 I_{maxDev.3}$) に低下する。

【0098】

Dev. 4 では、最大ピーク強度 ($I_{maxDev.4}$) は約 6.8 であり、これは約 625 nm の波長で生じる。強度 (I) は、約 680 nm の波長 ($\lambda_{RODev.4}$) で、この値の半分 ($1/2 I_{maxDev.4}$) に低下する。

【0099】

Dev. 5 では、最大ピーク強度 ($I_{maxDev.5}$) は約 7.0 であり、これは約 605 nm の波長で生じる。強度 (I) は、約 650 nm の波長 ($\lambda_{RODev.5}$) で、この値の半分 ($1/2 I_{maxDev.5}$) に低下する。

10

【表6】

表6							
3000K白色発光デバイス—測定試験データ(bbc=黒体曲線)							
デバイス	効率 (lm/W)	効率 (%)	最大偏差		$\lambda_{RO}(nm)$	CAF	CAF (%)
			$I_{maxdev}(\%)$	$\lambda_{maxdev}(nm)$			
Com. 2	127	—	70	450	680	0.386	88.5
Dev. 3	109	100	40	445	690	0.451	103.4
Dev. 4	120	110	50	445	680	0.454	104.1
Com. 3	144	—	100	450	655	0.395	90.5
Dev. 5	149	137	60	455	650	0.451	103.4
bbc	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.436	100.0

20

【表7】

表7									
3000K白色発光デバイス—測定試験データ									
デバイス	CIE演色CRI								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Com. 2	91.2	94.5	97.4	92.0	90.6	93.7	92.9	81.1	55.9
Dev. 3	98.2	97.9	92.2	93.1	97.4	97.6	95.1	95.3	96.2
Dev. 4	97.1	97.0	95.7	95.8	96.7	96.6	95.2	90.8	77.8
Com. 3	81.1	90.7	96.5	79.9	80.7	87.9	83.7	61.2	12.4
Dev. 5	84.2	94.5	93.0	83.6	85.5	95.1	82.2	60.0	11.9

30

【表8】

表8							
3000K白色発光デバイス—測定試験データ							
デバイス	CIE演色CRI						
	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Ra
Com. 2	86.8	92.6	76.8	91.9	97.9	86.5	91.7
Dev. 3	94.2	91.8	93.3	99.3	94.9	98.0	95.9
Dev. 4	92.4	95.9	91.6	97.0	96.9	94.6	95.6
Com. 3	78.4	78.5	66.3	83.3	98.6	74.5	82.7
Dev. 5	88.7	84.9	85.6	87.0	96.5	75.4	85.0

40

【0100】

表6、表7、及び表8を参照すると、デバイスDev. 3は、1091 lm/Wの効率を有すること、及び95超(95.9)のCRI Raを有する白色光を生成し、CRI R1~CRI R15のそれぞれは90以上(91.8~99.3)であることに気付くであろう。比較すると、デバイスDev. 4は、1491 lm/Wの効率を有し、95以上(95.6)のCRI Raを有する白色光を生成し、CRI R1~CRI R8及びCR

50

I R 1 0 ~ C R I R 1 5 は 9 0 以上であるが、C R I R 9 (「飽和赤色」に対応する)は、5 0 超かつ 9 0 未満 (7 7 . 8) である。比較すると、デバイス D e v . 5 は、1 2 0 1 m / W の効率を有し、8 5 以上 (8 5 . 0) の C R I R a を有する白色光を生成し、C R I R 1 ~ C R I R 7 及び C R I R 1 0 ~ C R I R 1 5 は 9 0 以上であるが、C R I R 8 (「赤みがあった紫色」に対応する)は、7 2 未満 (6 0 . 0) 未満であり、また、C R I R 9 (「飽和赤色」に対応する)は、1 0 超かつ 9 0 未満 (1 1 . 9) である。更に、D e v . 4 及び D e v . 5 で生成される光の質は、D e v . 3 で生成される光の質と概ね同一であるが、効率は大幅に (それぞれ約 2 0 % 及び約 5 0 %) 増加することに気付くであろう。

【 0 1 0 1 】

4 0 0 0 K フルススペクトル白色発光デバイスの試験データ

【 0 1 0 2 】

表 9、表 1 0、及び表 1 1 は、4 0 0 0 K 白色発光デバイス D e v . 6 及び既知の 4 0 0 0 K C R I 9 0 比較デバイス C o m . 4 について測定された光学試験データを表にしたものである。発光デバイス D e v . 6 は、主波長が $\lambda_{d1} = 4 4 3 \text{ nm}$ 、 $\lambda_{d2} = 4 5 1 \text{ nm}$ 、及び $\lambda_{d3} = 4 5 7 \text{ nm}$ である 3 個の L E D チップを含む 2 8 3 5 パッケージを含み、G A L 5 2 0 蛍光体と C A S N 6 5 0 蛍光体との組み合わせを含む。比較デバイス C o m . 4 は、狭帯域励起源を用い、9 0 の公称 C R I R a を有する、既知の 2 8 3 5 パッケージ化白色発光デバイスを含む。

【 0 1 0 3 】

図 8 は、(i) D e v . 6 (実線)、(i i) C o m . 4 (点線)、並びに (v) D e v . 6 及び C o m . 3 と名目上同一である 4 0 0 0 K の C C T のプランキアンスペクトル (破線) に対する、強度スペクトル、正規化強度 (C I E 1 9 3 1 X Y Z 相対輝度 $Y = 1 0 0$ に正規化) 対波長 (nm) を示す。スペクトルの分析は、波長範囲 4 3 0 nm ~ 5 2 0 nm (青色 ~ シアン) にわたって、デバイス、及び D e v . 6 により放出された光の正規化強度と同一相対色温度 (4 0 0 0 K) の黒体曲線の光の正規化強度との間の最大差である、約 3 0 % の最大正規化強度偏差率 $I_{\text{max dev}}$ が存在することを示す。これは、(約 4 5 0 nm の波長で) 正規化強度の約 9 0 % の最大偏差率 $I_{\text{max dev}}$ を示す白色光を生成する、既知の比較デバイス C o m . 2 (狭帯域励起光源を用いる) と比較されるべきである。更に、表 6 から分かるように、デバイス D e v . 6 は、自然光の C A F の 0 . 4 % である C A F を有する白色光を生成する (C C T 4 0 0 0 K の b b c)。比較すると、比較デバイス C o m . 3 は、自然光の C A F のわずか 7 . 0 % 以内の C A F を有する。

【 0 1 0 4 】

当然のことながら、デバイス D e v . 6 は、C A F (概日作用因子) 又はメラノピック比率 (M R) によって測定されるヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける、この波長領域にわたって自然光により酷似する白色光を生成し、このことは、ヒトの健康に有益であり得る。

【 0 1 0 5 】

ここで、スペクトルの橙色 ~ 赤色波長領域 (すなわち、約 5 7 0 nm よりも長い波長) におけるスペクトルの強度ロールオフ (テール) について検討する。D e v . 6 では、最大ピーク強度 ($I_{\text{max Dev . 6}}$) は約 5 . 9 であり、これは約 6 3 0 nm の波長で生じる。強度 (I) は、約 6 8 5 nm の波長 ($R O D e v . 6$) で、この値の半分 ($(1 / 2 I_{\text{max Dev . 6}})$) に低下する。

10

20

30

40

50

【表 9】

表9						
4000K白色発光デバイス—測定試験データ(bbc=黒体曲線)						
デバイス	効率 (lm/W)	最大偏差		$\lambda_{RO}(nm)$	CAF	CAF(%)
		$I_{maxdev}(\%)$	$k_{maxdev}(nm)$			
Com. 4	133	90	450	680	0.599	93.0
Dev. 6	117	30	440	685	0.646	99.6
bbc	N/A	N/A	N/A	N/A	0.644	100.0

【表 10】

表10									
4000K白色発光デバイス—測定試験データ									
デバイス	CIE演色CRI								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Com. 4	95.0	96.9	96.8	92.5	92.7	93.9	95.4	91.1	79.2
Dev. 6	98.5	98.8	96.2	97.7	98.7	98.5	97.9	96.5	93.3

【表 11】

表11							
4000K白色発光デバイス—測定試験データ							
デバイス	CIE演色CRI						
	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Ra
Com. 4	90.9	93.0	67.7	95.6	97.7	92.5	94.3
Dev. 6	97.3	97.3	94.9	98.4	97.3	97.7	97.8

【0106】

表9、表10、及び表11を参照すると、デバイスDev. 6は、117lm/Wの効率を有すること、及び95超(95.9)のCRI Raを有する白色光を生成し、CRI R1~CRI R15のそれぞれは90以上(91.8~99.3)であることに気付くであろう。

【0107】

5000Kフルスペクトル白色発光デバイスの試験データ

【0108】

表12、表13、及び表14は、5000K白色発光デバイスDev. 7及びDev. 8、並びに既知の5000K CRI 90及びCRI 80比較デバイスCom. 5及びCom. 6について測定された光学試験データを表にしたものであり、青色及びシアンスペクトル成分を維持しつつ、赤色スペクトル成分を低減させる効率に対する影響を示す。

【0109】

発光デバイスDev. 7及びDev. 8は、主波長が $\lambda_{d1} = 443nm$ 、 $\lambda_{d2} = 451nm$ 、及び $\lambda_{d3} = 457nm$ である3個のLEDチップを含む2835パッケージをそれぞれ含む。Dev. 7は、GAL520蛍光体とCASN650蛍光体との組み合わせを含み、Dev. 8は、GAL520蛍光体、GAL530蛍光体、CASN625蛍光体、及びCASN650蛍光体の組み合わせを含む。比較デバイスCom. 5は、狭帯域励起源を用い、90の公称CRI Raを有する、既知の2835パッケージ化白色発光デバイスを含む。Com. 6は、狭帯域励起源を用い、80の公称CRI Raを有する、既知の2835パッケージ化白色発光デバイスを含む。

【0110】

図9aは、(i) Dev. 7(実線)、(ii) Com. 5(点線)、並びに(iii) Dev. 7及びCom. 5と名目上同一である5000KのCCTのプランキアンスペクトル(破線)に対する、強度スペクトル、正規化強度(CIE 1931 XYZ相対輝

10

20

30

40

50

度 $Y = 100$ に正規化) 対波長 (nm) を示す。スペクトルの分析は、波長範囲 $430\text{ nm} \sim 520\text{ nm}$ (青色～シアン) にわたって、デバイス Dev. 7 により放出された光の正規化強度と同一相対色温度 (5000 K) の CIE 標準光源 D の正規化強度との間には、約 50% の最大正規化強度偏差率 I_{maxdev} が存在することを示す。これは、(約 450 nm の波長 λ_{maxdev} で) 正規化強度の約 115% の最大偏差率 I_{maxdev} を示す白色光を生成する、既知の比較デバイス Com. 5 (狭帯域励起光源を用いる) と比較されるべきである。更に、表 12 から分かるように、デバイス Dev. 7 は、自然光の CAF の 2.1% 以内である CAF を有する白色光を生成する (CCT 5000 K の CIE D)。比較すると、比較デバイス Com. 5 は、自然光の CAF のわずか 12.6% 以内の CAF を有する。

10

【0111】

図 9 b は、(i) Dev. 8 (実線)、(ii) Com. 6 (点線)、並びに (iii) Dev. 8 及び Com. 6 と名目上同一である 5000 K の CCT のプランキアンスペクトル (破線) に対する、強度スペクトル、正規化強度 (CIE 1931 XYZ 相対輝度 $Y = 100$ に正規化) 対波長 (nm) を示す。スペクトルの分析は、波長範囲 $430\text{ nm} \sim 520\text{ nm}$ (青色～シアン) にわたって、デバイス Dev. 8 により放出された光の正規化強度と同一相対色温度 (5000 K) の CIE 標準光源 D の正規化強度との間には、約 20% の最大正規化強度偏差率 I_{maxdev} が存在することを示す。これは、(約 450 nm の波長 λ_{maxdev} で) 正規化強度の約 140% の最大正規化強度偏差率を示す白色光を生成する、既知の比較デバイス Com. 6 (狭帯域励起光源を用いる) と比較されるべきである。更に、表 12 から分かるように、デバイス Dev. 8 は、自然光の CAF の 2.0% 以内である CAF を有する白色光を生成する (CCT 5000 K の CIE D)。比較すると、比較デバイス Com. 6 は、自然光の CAF のわずか 13.1% 以内の CAF を有する。

20

【0112】

当然のことながら、デバイス Dev. 7 及び Dev. 8 のそれぞれは、CAF (概日作用因子) 又はメラノピック比率 (MR) によって測定されるヒトの非視覚的認知が最大の影響を受ける、この波長領域にわたって自然光により酷似する白色光を生成し、このことは、ヒトの健康に有益であり得る。

【0113】

ここで、スペクトルの橙色～赤色波長領域 (すなわち、約 570 nm よりも長い波長) におけるスペクトルの強度ロールオフ (テール) について検討する。Dev. 7 では、最大ピーク強度 ($I_{\text{maxDev.7}}$) は約 4.9 であり、これは約 625 nm の波長で生じる。強度 (I) は、約 685 nm の波長 ($\lambda_{\text{RODev.7}}$) で、この値の半分 ($1/2 I_{\text{maxDev.7}}$) に低下する。

30

【0114】

Dev. 8 では、最大ピーク強度 ($I_{\text{maxDev.8}}$) は約 5.6 であり、これは約 590 nm の波長で生じる。強度 (I) は、約 650 nm の波長 ($\lambda_{\text{RODev.8}}$) で、この値の半分 ($1/2 I_{\text{maxDev.8}}$) に低下する。

【表 12】

40

表 12							
5000K 白色発光デバイス—測定試験データ (bbc=黒体曲線)							
デバイス	効率 (lm/W)	効率 (%)	最大偏差		λ_{RO} (nm)	CAF	CAF (%)
			I_{maxdev} (%)	λ_{max} (nm)			
Com. 5	135	—	115	460	685	0.753	87.4
Dev. 7	117	100	50	445	685	0.824	102.1
Com. 6	165	—	140	445	645	0.701	86.9
Dev. 8	152	130	20	455	650	0.791	98.0
bbc	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.807	100.0

50

【表 1 3】

表13									
5000K白色発光デバイス—測定試験データ									
デバイス	CIE演色CRI								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Com. 5	96.0	99.1	98.3	88.8	92.4	95.7	91.4	90.5	87.1
Dev. 7	98.3	98.8	98.8	98.5	98.7	98.9	98.7	97.6	93.5
Com. 6	82.4	87.6	90.8	83.9	82.2	81.8	89.9	73.5	23.5
Dev. 8	82.4	93.5	93.4	81.1	83.9	90.6	83.9	62.6	1.3

10

【表 1 4】

表14							
5000K白色発光デバイス—測定試験データ							
デバイス	CIE演色CRI						
	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Ra
Com. 5	97.3	90.7	64.6	97.5	99.4	92.1	94.0
Dev. 7	98.6	99.0	96.4	98.0	98.8	97.3	98.5
Com. 6	70.0	82.4	56.0	83.5	95.0	78.2	84.0
Dev. 8	85.2	81.2	73.1	85.9	96.4	75.0	83.9

20

【0 1 1 5】

表 1 2、表 1 3、及び表 1 4 を参照すると、デバイス Dev . 7 は、1 1 7 l m / W の効率を有すること、及び 9 5 超 (9 8 . 5) の C R I R a を有する白色光を生成し、C R I R 1 ~ C R I R 1 5 のそれぞれは 9 0 以上 (9 3 . 5 ~ 9 9 . 0) であることに気付くであろう。比較すると、デバイス Dev . 8 は、1 5 2 l m / W の効率を有し、8 0 超 (8 3 . 9) の C R I R a を有する白色光を生成し、C R I R 8 (「赤みがかった紫色」に対応する) は 7 2 未満 (6 2 . 6) 未満であり、また、C R I R 9 (「飽和赤色」に対応する) は 0 超かつ 9 0 未満 (1 . 3) である。更に、Dev . 8 で生成される光の質は、Dev . 7 で生成される光の質と概ね同一であり、効率は大幅に (約 3 0 %) 増加し、Com . 6 と同程度であることに気付くであろう。

30

【0 1 1 6】

LEDフィラメント白色発光デバイス

【0 1 1 7】

本発明のいくつかの実施形態による白色発光デバイスについては、遠隔蛍光体及びパッケージ化白色発光デバイスを参照して説明してきたが、白色発光デバイスのカテゴリは、LEDフィラメント白色発光デバイスを包含することが理解されよう。試験により、本発明のいくつかの実施形態によるLEDフィラメントの形態の白色発光デバイスが、同様のスペクトル特性を有し、上記の白色発光デバイスの同じ利点及び利点を提供することを確認した。

【0 1 1 8】

図 1 0 は、1 8 0 0 K ~ 6 8 0 0 K の範囲の CCT (相関色温度) を有するフルスペクトル白色光を生成するための LED フィラメント A シリーズランプ (電球) 1 0 1 0 0 の側面図を示す。LED フィラメントランプ 1 0 1 0 0 は、コネクタベース 1 0 1 0 2 と、光透過性ガラスエンベロープ 1 0 1 0 4 と、ガラス LED フィラメント支持体 (ステム) 1 0 1 0 6 と、本発明による 4 個の LED フィラメント (白色発光デバイス) 1 0 1 0 と、を含む。

40

【0 1 1 9】

ここで、本発明の一実施形態による LED フィラメント 1 1 1 0 を、C - C の断面側面図及び LED フィラメントの部分切欠き平面図を示す図 1 1 a 及び図 1 1 b を参照して説明する。LED フィラメント 1 1 1 0 は、前面 1 1 1 1 0 に取り付けられた固体広帯域励

50

起源 1120 のアレイを有する光透過性回路基板 (board) (基板 (substrate)) 11108 を含み得る。広帯域励起源は、420 nm ~ 470 nm、すなわち可視スペクトルの青色領域内の主波長 λ_d を有し、25 nm ~ 50 nm の FWHM を有する広帯域青色励起光を生成するように構成されている。図示の実施形態では、広帯域励起源 1120 は、非パッケージ化広帯域青色 LED ダイ (例えば、本明細書に記載の MQW InGaN / GaN LED ダイ) で構成され、これらのダイは基板に直接取り付けられている。他の実施形態では、広帯域励起源 1120 のそれぞれは、それぞれの異なる主波長 λ_{d1} λ_{d2} を有する、少なくとも 2 個の狭帯域青色 LED ダイの組み合わせによって構成され得、これらのダイは、基板に直接取り付けられている。

【0120】

この実施形態では、図示される基板 11108 は平面状であり、広帯域励起源 1120 は、基板の前面 11110 の長さに沿って直線状アレイとして構成されている。

【0121】

典型的には、各 LED フィラメントは、25 個の励起源 (LED ダイ) を含み、約 2 W の総公称電力を有し得る。

【0122】

好ましくは、少なくとも半透明である基板 11108 は、例えば、ガラス、又はポリプロピレン、シリコン、若しくはアクリルなどプラスチック材料など可視光に対して 10 % 以上の透過率を有する、任意の光透過性材料を含み得る。基板 11108 は、励起源 1120 を電気的に接続するための所望の回路構成で構成された導電性トラック 11112 を前面 11110 に更に備え得る。図示のように、励起源 1120 は、ストリングとして直列に電気的に接続することができる。示すように、励起源 1120 は、ボンドワイヤ 11114 を使用して導電性トラック 11112 に電気的に接続することができる。他の実施形態では、励起源 1120 は、ボンドワイヤによって互いに直接接続することができ、それによって導電性トラックの必要性を排除することができる。更に他の実施形態では、励起源 1120 は、導電性トラックに取り付けられた表面実装型 LED 又はフリップチップ LED を含むことができる。基板 11108 は、LED フィラメント 11110 に電力を印加するための電極 11116 をそれぞれの端部に含むことができる。

【0123】

本発明のいくつかの実施形態によると、LED フィラメント 11110 は、少なくとも基板の前面 11110 及び励起源 1120 を覆うフォトルミネセンス波長変換材料 1166 を更に含む。本発明のいくつかの実施形態によると、フォトルミネセンス波長変換材料 1166 は、緑色 ~ 黄色フォトルミネセンス材料、任意選択的に橙色 ~ 赤色フォトルミネセンス材料を含む。LED フィラメントの前面及び背面から放出された光が概して同一の色であるようにするために、LED フィラメント 11110 は、図示するように、基板の背面 11120 を覆うフォトルミネセンス波長変換材料 11118 を更に含み得る。フォトルミネセンス波長変換材料 11118 は、フォトルミネセンス波長変換材料 1166 と同じフォトルミネセンス材料を含み得る。

【0124】

上記のように、本発明の特定の利点は、本発明のいくつかの実施形態によるフルスペクトル白色発光デバイスが、CAF (概日作用因子) 又はメラノピック比率 (MR) によって測定されたヒト非視覚的知覚が最も影響を受ける、スペクトルの青色 ~ シアン波長領域 (430 nm ~ 520 nm) において自然光に酷似するフルスペクトル白色光を生成することができることである。照明産業では、青色光の刺激及びその概日リズムに対する影響に関して多大な議論がなされている。光源の青色 ~ シアンの光量は、概日サイクルに影響し得るメラトニン分泌に影響を与える。高レベルの青色 ~ シアン光は、メラトニン分泌を抑制し、人体を活性化させる。低レベルの青色光は、メラトニン分泌を抑制せず、人体をリラックスさせる。この非視覚的効果を評価するために使用される 1 つの測定基準は、CAF 概日作用因子であり、典型的には、1 日を通した青色成分によって調節される。日中の太陽は、高い CCT、及びより高い青色 ~ シアン成分を有する。日の出及び日の入りは

10

20

30

40

50

、より低い CCT、及びより低い青色～シアン成分を有する。異なる CCTにおける自然光の CAF 値は、ヒトの感情、健康、又は健康な生活が影響を受ける、青色～シアン領域における自然光からの照明偏差の良好な尺度である。

【0125】

更に、本発明のフルスペクトル白色発光デバイスの更なる利点は、ピーク発光波長/橙色～赤色フォトルミネセンス材料の FWHM を適切に選択することにより、当該デバイスが、橙色～赤色領域においてロールオフ(テール)を有するスペクトルを有し、強度が、約 645 nm～約 695 nm の波長において、スペクトルの橙色～赤色領域でのその最大値から当該最大値の約 50% に低下する白色光を生成することである。そのようなスペクトル特性(テール)は、眼の明所視反応が低い、スペクトルの赤色波長領域において光強度(光子カウント)を低減させ、それによってデバイス効率を増加させる。試験データは、本発明によるフルスペクトル白色発光デバイスが、少なくとも 90 の CRI Ra と、CRI R9 及び CRI R8 のみを低減しつつ、既知の CRI 80 デバイスに等しいか、又はそれを超える効率と、を備える白色光を生成することができることを確認した。CRI R9 及び CRI R8 の値のこの低減にもかかわらず、当該デバイスによって生成される光の知覚品質は、スペクトルの赤色波長領域における眼の感度に起因する悪影響を受けない。

10

【0126】

要約すると、当然のことながら、広帯域固体励起源を含む本発明による発光デバイスは、1800 K～6800 K の範囲の色温度を有し、(i) 約 430 nm～約 520 nm の波長範囲にわたって、同一相関色温度の黒体曲線又は CIE 標準光源 D の光強度からの当該白色光の最大強度偏差率が、60% 未満、50% 未満、40% 未満、30% 未満、20% 未満、及び 10% 未満のうち少なくとも 1 つであるスペクトル、(ii) 黒体曲線/CIE 標準光源 D の 5%、4%、2%、又は 1% 以内の CAF を有するスペクトル、(iii) 90 未満である CRI R9 及び/又は CRI R8、(iv) 約 645 nm～約 695 nm の波長において、スペクトルの橙色～赤色波長領域におけるその最大値から当該最大値の約 50% に強度が低下するスペクトル、(v) 約 645 nm～約 695 nm の波長において、スペクトルの橙色～赤色波長領域におけるその最大値から当該最大値の約 50% に強度が低下し、85 以上の CRI Ra、90 以上の CRI R1～CRI R7 及び CRI R10～CRI R15、72 未満の CRI R8、並びに 10 超かつ 90 未満の CRI R9 を有するスペクトル、(vi) 約 645 nm～約 695 nm の波長において、スペクトルの橙色～赤色波長領域におけるその最大値から当該最大値の約 50% に強度が低下し、95 以上の CRI Ra、90 以上の CRI R1～CRI R8 及び CRI R10～CRI R15、並びに 50 超かつ 90 未満の CRI R9 を有するスペクトル、並びに (vii) 約 645 nm～約 695 nm の波長において、スペクトルの橙色～赤色波長領域におけるその最大値から当該最大値の約 50% に強度が低下し、95 以上の CRI Ra、及び 90 以上の CRI R1～CRI R15 を有するスペクトル、のうちのいずれか 1 つを有する白色光を生成することを特徴とするフルスペクトル白色発光デバイスの実現を可能にする。

20

30

【0127】

本発明を詳細に説明してきたが、本発明から逸脱することなく、様々な変更及び修正を行うことができ、同等物を使用することができることは、当業者には明らかであろう。本発明は、上記の説明に記載した、又は図面に示した構造の詳細、構成要素の配置、及び/又は方法に限定されないことを理解されたい。更に、図面は単なる例示であり、限定するものではない。項目見出し及び小見出しは、読者の便宜を測ったものに過ぎない。これらは、何らかの実質的な重要性、意味、又は解説を有すると解釈すべきではなく、またそうすることはできず、何らかの特定の主題に関する情報の全てが、いずれかの特定の見出し又は小見出しの下で見出されるか又はこれに限定されることを示すと見なすべきではなく、またそうすることはできない。したがって、本発明は、以下の「特許請求の範囲」及びそれらの法的等価物に従うことを除いて限定されるべきではない。本発明は、その特定の

40

50

実施形態を参照して具体的に説明してきたが、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、形態及び詳細における変更及び修正を行うことができることは、当業者には容易に明らかであろう。

【 0 1 2 8 】

本発明は、その特定の実施形態を参照して具体的に説明してきたが、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく、形態及び詳細における変更及び修正を行うことができることは、当業者には容易に明らかであろう。

10

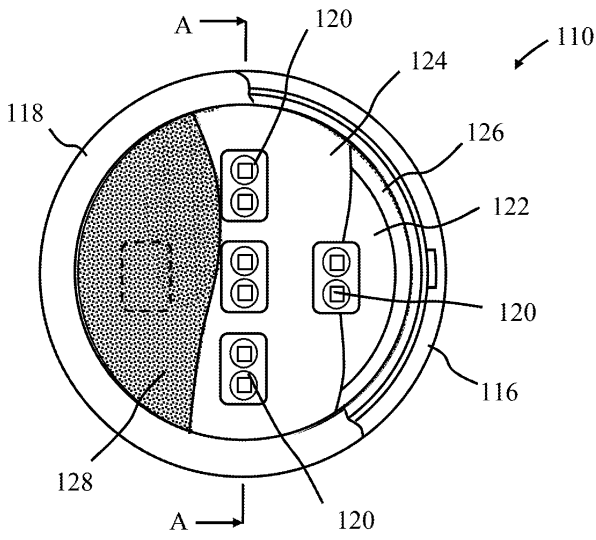
20

30

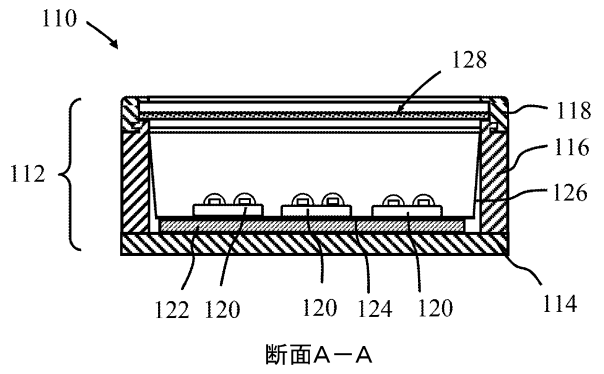
40

50

【図面】
【図 1 a】

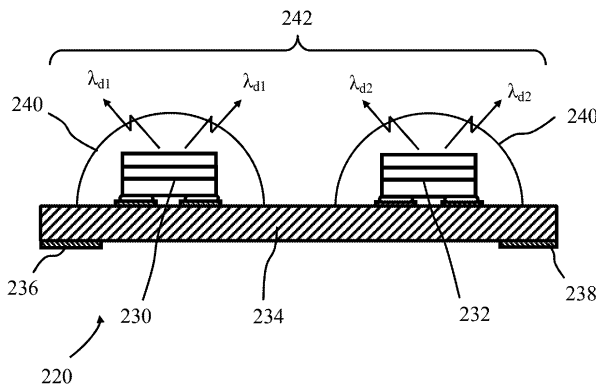


【図 1 b】

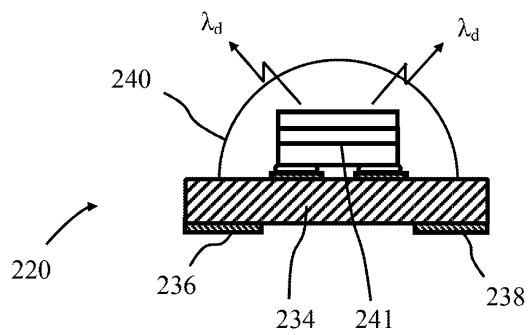


10

【図 2 a】



【図 2 b】



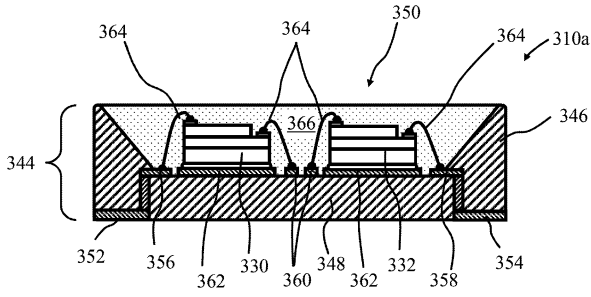
20

30

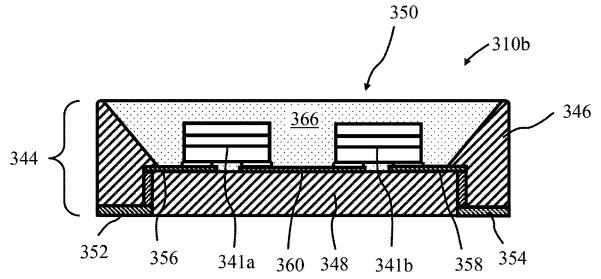
40

50

【図 3 a】

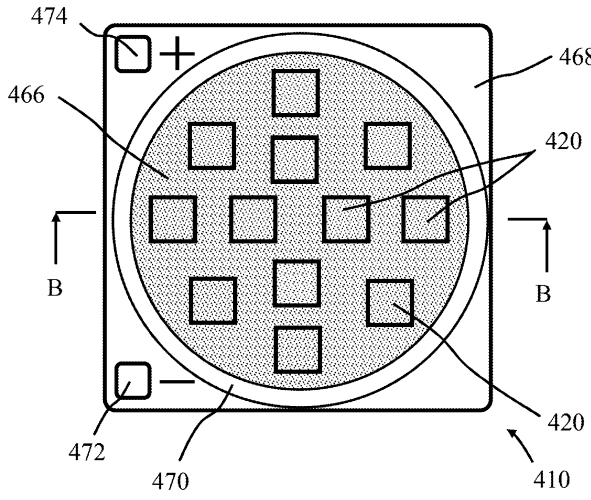


【図 3 b】

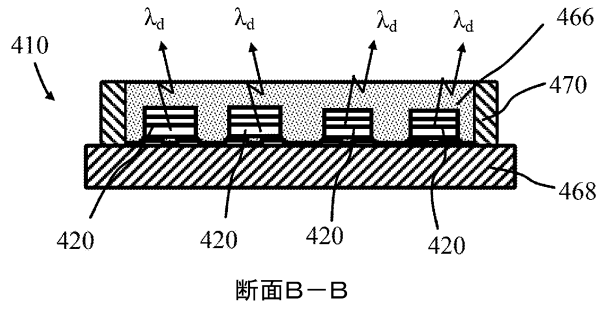


10

【図 4 a】

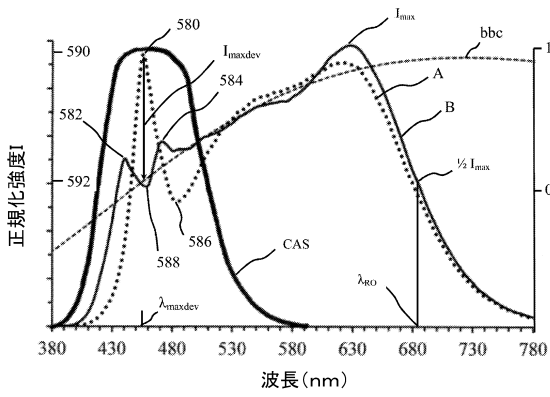


【図 4 b】

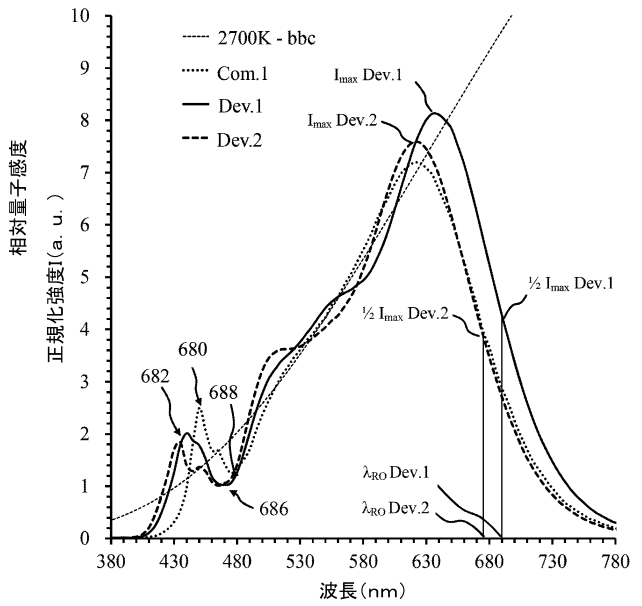


20

【図 5】



【図 6】

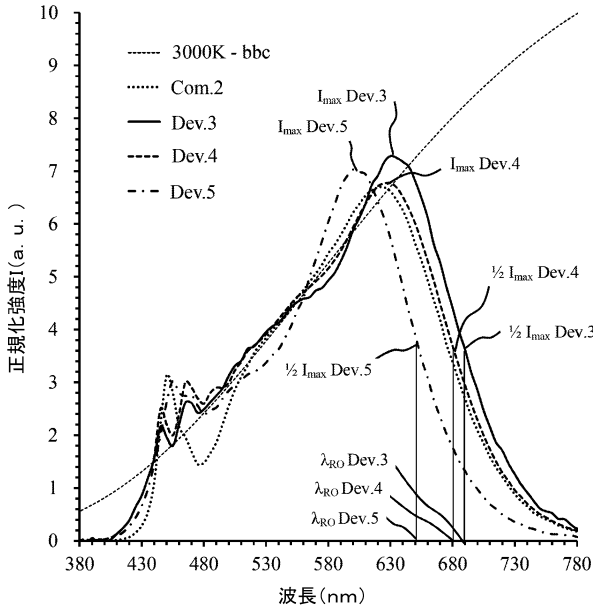


30

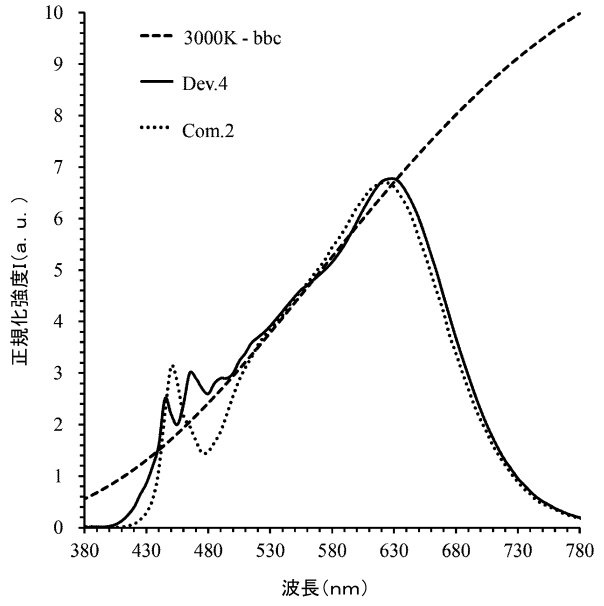
40

50

【 7 a 】

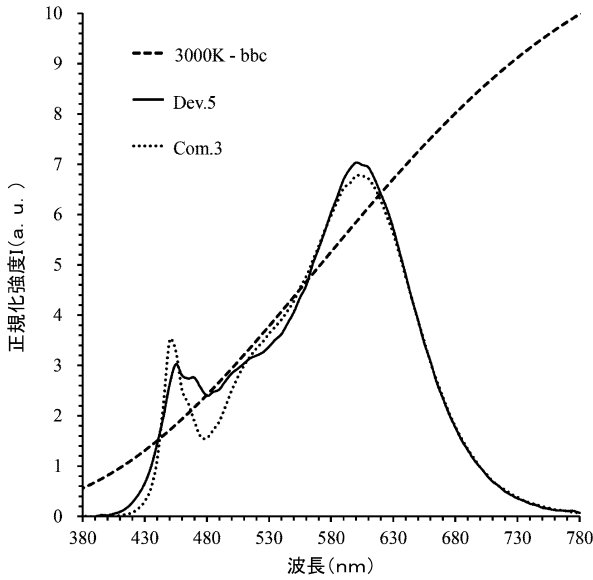


【 7 b 】

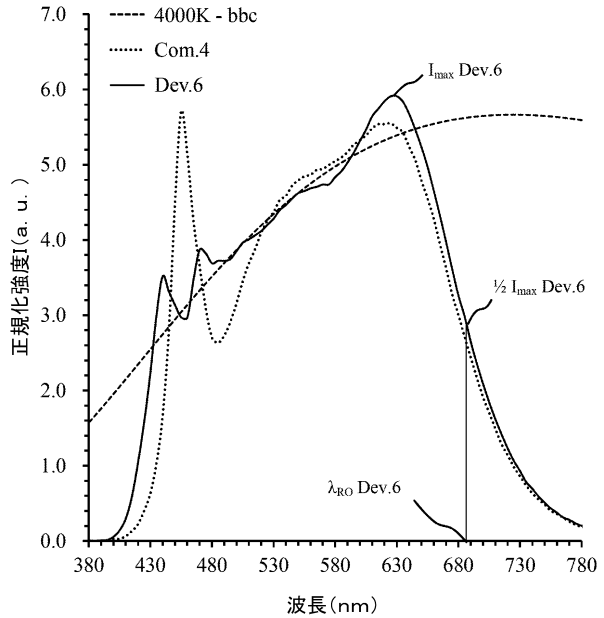


10

【 7 c 】



【 8 】



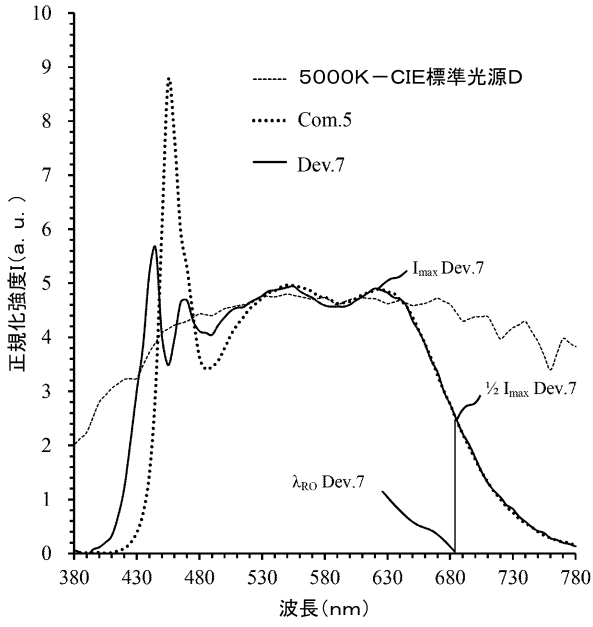
20

30

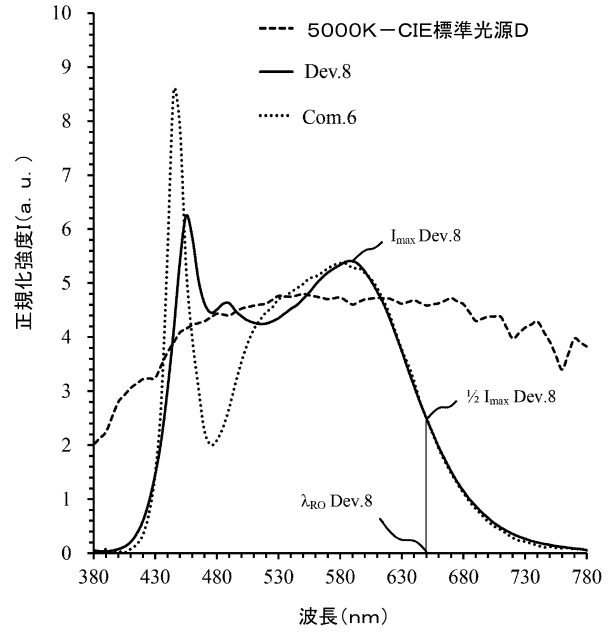
40

50

【図 9 a】



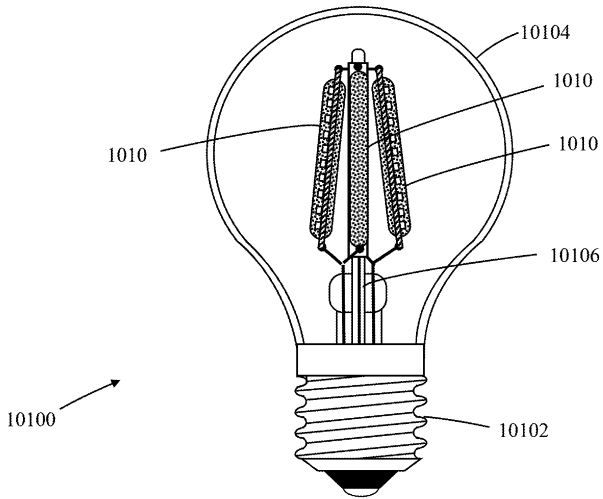
【図 9 b】



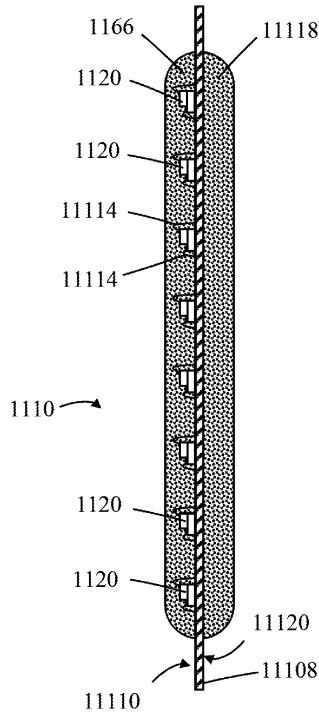
10

20

【図 1 0】



【図 1 1 a】




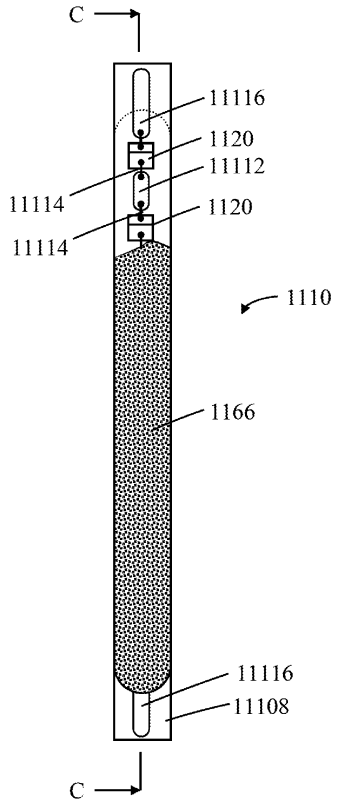
30

40

断面C-C

50

【 1 1 b】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

	F I		
F 2 1 Y 115/10 (2016.01)	F 2 1 V	9/32	
F 2 1 Y 113/17 (2016.01)	F 2 1 Y	115:10	5 0 0
	F 2 1 Y	113:17	

(33)優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

(72)発明者 ユエン シャンロン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 3 3 7 マンテカ リヴァ トリゴソ ドライブ 1 5 1 6

(72)発明者 ジュン - ガン ツァオ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント フレモント ブールバード 4 6 4 1 0

審査官 佐藤 美紗子

(56)参考文献

特開2019-009126(JP, A)
 特表2007-524726(JP, A)
 特開2005-217386(JP, A)
 国際公開第2017/044380(WO, A1)
 国際公開第2016/208683(WO, A1)
 特開2016-219519(JP, A)
 特開2015-056667(JP, A)
 米国特許出願公開第2019/0139943(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 3 3 / 0 0 - 3 3 / 6 4
 F 2 1 V 3 / 0 8
 F 2 1 V 9 / 3 0
 F 2 1 Y 1 0 9 / 0 0