

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6081368号

(P6081368)

(45) 発行日 平成29年2月15日 (2017. 2. 15)

(24) 登録日 平成29年1月27日 (2017. 1. 27)

|                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| (51) Int. Cl.            | F I                |
| H O 1 L 33/50 (2010. 01) | H O 1 L 33/50      |
| F 2 1 V 3/04 (2006. 01)  | F 2 1 V 3/04 5 0 0 |
| F 2 1 S 2/00 (2016. 01)  | F 2 1 S 2/00 2 1 5 |
|                          | F 2 1 S 2/00 2 1 6 |

請求項の数 10 (全 21 頁)

|               |                              |           |                     |
|---------------|------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2013-540775 (P2013-540775) | (73) 特許権者 | 000003078           |
| (86) (22) 出願日 | 平成24年10月23日 (2012. 10. 23)   |           | 株式会社東芝              |
| (86) 国際出願番号   | PCT/JP2012/077296            |           | 東京都港区芝浦一丁目1番1号      |
| (87) 国際公開番号   | W02013/061943                | (73) 特許権者 | 303058328           |
| (87) 国際公開日    | 平成25年5月2日 (2013. 5. 2)       |           | 東芝マテリアル株式会社         |
| 審査請求日         | 平成27年9月14日 (2015. 9. 14)     |           | 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地   |
| (31) 優先権主張番号  | 特願2011-233422 (P2011-233422) | (74) 代理人  | 110001380           |
| (32) 優先日      | 平成23年10月24日 (2011. 10. 24)   |           | 特許業務法人東京国際特許事務所     |
| (33) 優先権主張国   | 日本国 (JP)                     | (72) 発明者  | 山川 昌彦               |
| (31) 優先権主張番号  | 特願2011-233420 (P2011-233420) |           | 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 東 |
| (32) 優先日      | 平成23年10月24日 (2011. 10. 24)   |           | 芝マテリアル株式会社内         |
| (33) 優先権主張国   | 日本国 (JP)                     | (72) 発明者  | 白川 康博               |
|               |                              |           | 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 東 |
|               |                              |           | 芝マテリアル株式会社内         |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 白色光源およびそれを用いた白色光源システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

発光ピークが  $421 \text{ nm}$  以上  $490 \text{ nm}$  以下にある発光ダイオードと、ピーク波長の異なる3種以上の蛍光体と樹脂を具備した蛍光体層を有する白色光源において、上記蛍光体層中の蛍光体には、相互吸収する組合せが存在すると共に、各蛍光体の発光ピーク波長は、隣接する蛍光体のピーク波長との間隔が  $10 \text{ nm}$  以上  $100 \text{ nm}$  以下であり、白色光源の発光スペクトルを  $P(\lambda)$ 、白色光源と同じ色温度を示す黒体輻射の発光スペクトルを  $B(\lambda)$ 、分光視感効率のスペクトルを  $V(\lambda)$ 、 $P(\lambda) \times V(\lambda)$  が最大となる波長を  $\lambda_{\text{max}1}$ 、 $B(\lambda) \times V(\lambda)$  が最大となる波長を  $\lambda_{\text{max}2}$  としたとき、 $\lambda$  が  $380 \text{ nm}$  以上  $780 \text{ nm}$  以下となる波長範囲において、関係式：

$$-0.2 \leq \left[ \frac{P(\lambda) \times V(\lambda)}{P(\lambda_{\text{max}1}) \times V(\lambda_{\text{max}1})} - \frac{B(\lambda) \times V(\lambda)}{B(\lambda_{\text{max}2}) \times V(\lambda_{\text{max}2})} \right] \leq +0.2,$$

を満たし、かつ、CIE色度図を用いた白色光源の点灯初期と連続6000時間点灯後の色度変化の大きさが0.010未満であることを特徴とする白色光源。

【請求項 2】

前記蛍光体層がシリコン樹脂と蛍光体とから成り、蛍光体層中の蛍光体の質量比が5質量%以上50質量%以下であることを特徴とする請求項1に記載の白色光源。

【請求項 3】

$$\text{関係式：} -0.1 \leq \left[ \frac{P(\lambda) \times V(\lambda)}{P(\lambda_{\text{max}1}) \times V(\lambda_{\text{max}1})} - \frac{B(\lambda) \times V(\lambda)}{B(\lambda_{\text{max}2}) \times V(\lambda_{\text{max}2})} \right] \leq +0.1,$$

10

20

を満たすことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の白色光源。

【請求項4】

前記白色光源の色温度が2500～5400Kであることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の白色光源。

【請求項5】

前記蛍光体層の厚さが0.01～3mmであることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の白色光源。

【請求項6】

前記蛍光体は平均粒径が1～80μmであることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の白色光源。

10

【請求項7】

前記蛍光体層と発光ダイオードとの間に空間があることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の白色光源。

【請求項8】

前記蛍光体層は発光ダイオード上に設けられていることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の白色光源。

【請求項9】

前記蛍光体層は透明樹脂層を介して発光ダイオード上に設けられていることを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の白色光源。

【請求項10】

請求項1ないし請求項9のいずれか1項に記載の白色光源を複数個用いたことを特徴とする白色光源システム。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、白色光源およびそれを用いた白色光源システムに係り、特に自然光の発光スペクトルに近似した発光スペクトルを有する白色光源およびそれを用いた白色光源システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、省エネルギー対策や二酸化炭素の排出量を削減する観点からLED（発光ダイオード）を使用した白色光源が注目されている。タングステンフィラメントを使った従来の白熱電球と比較して、LEDは長寿命で、かつ省エネルギーが可能である。従来の白色LEDは、特開平10-242513号公報（特許文献1）に示されているように、発光ピーク波長が400～530nmの範囲にある青色LEDを使用してYAG蛍光体を励起させ、LEDの青色光とYAG蛍光体の黄色光とを混合して白色光を実現している。

30

【0003】

LEDを使用した白色光源は、信号機や液晶表示装置のバックライト、さらには室内灯などの一般用照明機器としても広く使用されている。従来の青色LEDを使用した白色光源は、その発光スペクトルは青色LEDから発する青色光のピーク高さが蛍光体からの黄色光のピーク高さの1.5倍以上と高く、青色光の影響が強い傾向があった。

40

【0004】

一方、LEDを使用した白色光源の普及に伴って、白色光源の人体への悪影響が懸念され始めている。前述のように従来の白色LEDは青色LEDの発光ピークが強い。このような青色ピークの強い白色光は自然光とは大きく異なる光である。ここで自然光とは、太陽光を意味する。

【0005】

このような白色光源の人体への影響を考慮して、国際公開WO2008/069101号パンフレット（特許文献2）では、発光ピークの異なるLEDと蛍光体とを組合せて4種類の発光ピークを混合することにより分光視感効率とのずれが少ない白色光を提供して

50

いる。

#### 【0006】

ここで分光視感効率とは、人間の目の光に対する感度を視感度と呼び、C I E（国際照明委員会）は標準分光比視感度  $V(\lambda)$  として定めたものである。従って、分光視感効率と標準分光比視感度  $V(\lambda)$  とは同じ意味である。図1にC I Eが定めた分光視感効率  $V(\lambda)$  を示す。すなわち、図1によれば、人間は波長が約555nmの光を最も高い感度で認識することを表している。

#### 【0007】

一方、特許文献2では、青色光の人体への影響を考慮して、波長が420～490nmの範囲の光を制御することを目的としている。このような方法により、夜間において生物時計による調節に関わるホルモンの一種としてのメラトニンの分泌を正常化する効果があると考えられる。

10

#### 【0008】

一方、人間は、体内時計で支配されるサーカディアンリズム（circadian rhythm:概日リズム、24時間リズム）を有している。人間は、自然光の下で生活することを基本としているが、現代社会では、長時間の室内労働や昼夜逆転生活など生活スタイルが多様化している。自然光を浴びない生活を長期間続けていると、サーカディアンリズムに乱れが生じ人体への悪影響が懸念されている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

20

#### 【0009】

【特許文献1】特開平10-242513号公報

【特許文献2】国際公開WO2008/069101号パンフレット

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0010】

現在のLEDを使用した白色光源、すなわち青色LEDを使用した白色光源は、自然光とは大きく異なる発光スペクトルを有している。このような白色光源の照射下で長時間生活していると人間のサーカディアンリズムに悪影響を与えることが懸念される。

#### 【0011】

30

本発明は、このような問題に対処するためになされたものであり、自然光の発光スペクトルに近似した発光スペクトルを有する白色光源およびそれを用いた白色光源システムを提供することを目的としたものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

上記目的を達成するために本願第1の発明に係る白色光源は、発光ピークが421以上490nm以下にある発光ダイオードと、ピーク波長の異なる3種以上の蛍光体と樹脂を具備した蛍光体層を有する白色光源において、上記蛍光体層中の蛍光体には、相互吸収する組合せが存在すると共に、各蛍光体の発光ピーク波長は、隣接する蛍光体のピーク波長との間隔が10nm以上100nm以下であり、白色光源の発光スペクトルを  $P(\lambda)$ 、白色光源と同じ色温度を示す黒体輻射の発光スペクトルを  $B(\lambda)$ 、分光視感効率のスペクトルを  $V(\lambda)$ 、 $P(\lambda) \times V(\lambda)$  が最大となる波長を  $\lambda_{max1}$ 、 $B(\lambda) \times V(\lambda)$  が最大となる波長を  $\lambda_{max2}$  としたとき、 $\lambda$  が380nm以上780nm以下となる波長範囲において、関係式：

40

$$-0.2 \leq [(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))] \leq +0.2,$$

を満たし、かつ、C I E色度図を用いた白色光源の点灯初期と連続6000時間点灯後の色度変化の大きさが0.010未満であることを特徴とする白色光源。

#### 【0013】

また、本願第2の発明に係る白色光源は、上記第1の発明に係る白色光源の構成に加え

50

て、前記蛍光体層がシリコン樹脂と蛍光体とから成り、蛍光体層中の蛍光体の質量比が5質量%以上50質量%以下であることを特徴とするものである。

【0014】

また、上記各白色光源において、関係式： $-0.1 \leq [(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))] \leq +0.1$ 、を満たすことがより好ましい。また、白色光源の色温度は2500～5400Kであることが好ましい。

【0015】

また、蛍光体層は、ピーク波長が異なる2種以上、より好ましくは3種以上の蛍光体を具備することが好ましい。さらに、ピーク波長が異なる3種以上の蛍光体は、相互吸収する組合せが存在することが好ましい。また、蛍光体層の厚さが0.01～3mmであることが好ましい。また、蛍光体は平均粒径1～80μmであることが好ましい。

10

【0016】

また、蛍光体層と発光ダイオードとの間に空間があることが好ましい。また、蛍光体層は発光ダイオード上に設けられていることが好ましい。また、蛍光体層は透明樹脂層を介して発光ダイオード上に設けられていることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係る白色光源システムは、上記本発明に係る白色光源を複数個用いて構成したことを特徴とするものである。

【発明の効果】

20

【0018】

本発明に係る白色光源によれば、自然光と同じ発光スペクトルを再現できる。そのため、白色光源からの白色光を長時間浴びても人体への悪影響を自然光と同等のレベルにすることができる。また、ピーク波長の異なる3種以上の蛍光体を使用した場合は、長時間使用した際の色度変化を抑制した信頼性が高い白色光源を提供することができる。

【0019】

さらに、蛍光体層中の蛍光体の質量比を制御しているので、長時間使用した際の輝度劣化を抑制でき信頼性が高い白色光源を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

30

【図1】分光視感効率 $V(\lambda)$ を示すグラフである。

【図2】黒体放射の発光スペクトル $B(\lambda)$ を求める数式である。

【図3】実施例1の白色光源の発光スペクトル $P(\lambda)$ を示すグラフである。

【図4】実施例1（色温度2700K）の黒体放射の発光スペクトル $B(\lambda)$ を示すグラフである。

【図5】実施例1の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ を示すグラフである。

【図6】実施例1（色温度2700K）の $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ を示すグラフである。

【図7】実施例1の差異 $A(\lambda)$ を示すグラフである。

40

【図8】実施例2の白色光源の発光スペクトル $P(\lambda)$ を示すグラフである。

【図9】実施例2（色温度4100K）の黒体放射の発光スペクトル $B(\lambda)$ を示すグラフである。

【図10】実施例2の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ を示すグラフである。

【図11】実施例2（色温度4100K）の $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ を示すグラフである。

【図12】実施例2の差異 $A(\lambda)$ を示すグラフである。

【図13】実施例3の白色光源の発光スペクトル $P(\lambda)$ を示すグラフである。

【図14】実施例3（色温度5400K）の黒体放射の発光スペクトル $B(\lambda)$ を示すグ

50

ラフである。

【図15】実施例3の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ を示すグラフである。

【図16】実施例3(色温度5400K)の $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ を示すグラフである。

【図17】実施例3の差異 $A(\lambda)$ を示すグラフである。

【図18】比較例1の差異 $A(\lambda)$ を示すグラフである。

【図19】本発明の白色光源(電球型)の一実施例を示す断面図である。

【図20】本発明に係る白色光源(電球型)の他の一実施例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0021】

本発明の実施形態に係る白色光源は、発光ピークが421～490nmにある青色発光LEDを具備した白色光源の発光スペクトルを $P(\lambda)$ 、白色光源と同じ色温度を示す黒体輻射の発光スペクトルを $B(\lambda)$ 、分光視感効率のスペクトルを $V(\lambda)$ 、 $P(\lambda) \times V(\lambda)$ が最大となる波長を $\lambda_{max1}$ 、 $B(\lambda) \times V(\lambda)$ が最大となる波長を $\lambda_{max2}$ としたとき、 $-0.2 \leq [(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))] \leq +0.2$ の関係式を満たすことを特徴とするものである。ここで $\lambda$ は可視光領域である380～780nmの波長を示す。

【0022】

20

上記関係式を満たす白色光源を構成する手順は以下の通りである。まず、白色光源の発光スペクトル $P(\lambda)$ を測定する。発光スペクトルの測定はJIS-C-8152に準じて積分球を使用した全光束測定で実施するものとする。色温度は、発光スペクトルから計算により求めるものである。なお、色温度の単位はケルビン(K)である。

【0023】

次に、白色光源の色温度と同じ黒体輻射の発光スペクトル $B(\lambda)$ を求める。発光スペクトル $B(\lambda)$ はプランク分布により求める。プランク分布は図2に示す数式により求めることができる。図2中、 $h$ はプランク定数、 $c$ は光速、 $\lambda$ は波長、 $e$ は自然対数の底、 $k$ はボルツマン定数、 $T$ は色温度である。黒体輻射の発光スペクトルは、 $h$ 、 $c$ 、 $e$ 、 $k$ が定数であるため色温度 $T$ が決まれば、波長 $\lambda$ に応じた発光スペクトルを求めることができる。

30

【0024】

また、黒体輻射は黒体放射とも呼ばれ、本発明では自然光(太陽光)の発光スペクトルを示すものである。自然光は、例えば、日中、朝方、日の出、夕方の時にはそれぞれ色温度が異なっている。具体的には、日中の自然光の色温度は5100K程度であり、朝方の自然光の色温度は約4200Kであり、日の出の自然光の色温度は約2700Kであり、夕方の自然光の色温度は約2800Kである。なお、朝方とは午前7:00時を想定したものである。

【0025】

図3に後述する実施例1の発光スペクトル $P(\lambda)$ を示した。一方、図5に、実施例1の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ を示した。また、図6に実施例1(色温度2700K)の $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ を示した。

40

【0026】

図5および図6を求める際の $V(\lambda)$ は図1に示した分光視感効率を用いた。

【0027】

図5は、図3に示した実施例1の発光スペクトル $P(\lambda)$ と分光視感効率 $V(\lambda)$ を各波長毎の値を掛け合わせた値を、 $(P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ で割った値をプロットした図である。図5において、 $(P(\lambda) \times V(\lambda))$ が最大値となる波長は、 $\lambda_{max1} = 556\text{nm}$ である。

50

## 【0028】

また、図6は、図4の発光スペクトル $B(\lambda)$ と分光視感効率 $V(\lambda)$ を各波長毎の値を掛け合わせた値を、 $(B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ で割った値をプロットした図である。図6において、 $(B(\lambda) \times V(\lambda))$ が最大となるのは、 $\lambda_{max2} = 556\text{ nm}$ である。

## 【0029】

$(P(\lambda) \times V(\lambda))$ は、分光視感効率 $V(\lambda)$ 領域における白色光源の発光スペクトルの強さを示すものである。最大値である $(P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ で割ることにより、図5に示したように1.0を上限とした値とすることができる。

## 【0030】

また、 $(B(\lambda) \times V(\lambda))$ は、分光視感効率 $V(\lambda)$ 領域における黒体輻射の発光スペクトルの強さを示すものであり、最大値である $(B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ で割ることにより図6に示したように1.0を上限とした値とすることができる。

## 【0031】

次に、差異 $A(\lambda) = [(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))]$ を求める。本実施例の白色光源は、 $-0.2 \leq [(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))] \leq +0.2$ である。この差異 $A(\lambda)$ が $-0.2 \leq A(\lambda) \leq +0.2$ であるということは、分光視感効率 $V(\lambda)$ 領域における白色光源の発光スペクトルが黒体輻射の発光スペクトル、つまりは自然光の発光スペクトルに近似していることを示している。つまり、差異 $A(\lambda) = 0$ であれば、自然光と同じ発光スペクトルを再現できるという意味である。

## 【0032】

図7に実施例1の差異 $A(\lambda)$ を示した。図7から明らかな通り、実施例1は差異 $A(\lambda)$ の範囲が $-0.03 \leq A(\lambda) \leq +0.11$ であり、日中の自然光を再現していることが分かる。

## 【0033】

このように本実施例によれば、発光スペクトルを黒体輻射の発光スペクトルに近似するよう設計されているので、従来のような青色光のピークが突出した白色LEDと比べて人間のサーカディアンリズムに対する悪影響を大幅に抑制することができる。

## 【0034】

また、後述する実施例のように日の出の自然光や朝方の自然光を再現することもできるので、その目的に合わせて発光スペクトルを制御すればよい。また、日中の自然光、日の出の自然光、朝方の自然光を再現した白色光源を組合せて、一日の太陽光と同じ自然光を再現することも可能である。例えば、病棟や長時間の室内業務を行わなければならない場所や部屋の照明設備として、この白色光源を用いれば、そこで生活する患者や作業を行う労働者のサーカディアンリズムへの悪影響を抑制できる。また、自然光を再現できるので、自然光を利用した植物栽培などの農業分野などへの応用も可能である。

## 【0035】

このような白色光源は、発光の色温度が $2500 \sim 5400\text{ K}$ であることが好ましい。この色温度が $2500\text{ K}$ 未満および $5400\text{ K}$ を超えると、自然光との乖離が大きくなり色温度の調整が困難になってしまう恐れがある。色温度の好ましい範囲は $2700 \sim 5200\text{ K}$ である。

## 【0036】

このような差異 $A(\lambda)$ を有する白色光源は、発光ピークが $421 \sim 490\text{ nm}$ にある青色発光LEDと、ピーク波長の異なる2種以上、好ましくは3種以上の蛍光体と樹脂を具備した蛍光体層を有するものである。本発明の白色光源は、青色発光ダイオードを使って、2種以上、好ましくは3種以上の蛍光体を励起して白色光を得る方式である。LEDの発光ピーク波長が $490\text{ nm}$ 超の青色LED、緑色LED、赤色LEDは、その発光ピ

10

20

30

40

50

ーク高さが大きいいため差異  $A(\lambda)$  を  $-0.2 \leq A(\lambda) \leq +0.2$  の範囲に制御し難い。

#### 【0037】

また、本発明の白色光源は、CIE色度図を用いた白色光源の点灯初期と連続6000時間点灯後の色度変化の大きさが0.010未満であることを特徴とするものである。

#### 【0038】

色度変化の大きさの測定方法は、JIS-Z-8518に準じて、白色光源の点灯初期と連続6000時間後の色度座標  $u'$ 、 $v'$  をそれぞれ測定する。このときの色度座標の差である  $\Delta u'$ 、 $\Delta v'$  を求め、色度変化の大きさ  $= [(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2]^{1/2}$  にて求めるものである。

10

#### 【0039】

本発明の白色光源は、この色度変化の大きさが0.010未満、さらには0.009未満と小さくすることができる。色度変化の大きさが0.010未満であるということは、長時間使用したとしても初期点灯時から色の変化がほとんどない状態を示す。そのため、長期に渡り、太陽光を再現することができる。

#### 【0040】

また、本発明では、ピーク波長が異なる2種以上、好ましくは3種以上の蛍光体と樹脂を具備する蛍光体層を有するものである。

#### 【0041】

また、蛍光体は、421～490nmの発光源で励起させたとき、蛍光体の発光ピーク波長が420～700nmの範囲にあることが好ましい。また、蛍光体は、ピーク波長の異なる2種以上、好ましくは3種類以上、さらには、4種以上の蛍光体を用いることが好ましい。また、各蛍光体のピーク波長は、150nm以下、さらには10～100nm、さらには10～50nmずれていることが好ましい。つまり、青色領域～赤色領域にかけて、2種以上、さらには3種以上の蛍光体を使ってピーク波長を10～100nm毎ずらして組合せることにより、 $-0.2 \leq \text{差異 } A(\lambda) \leq +0.2$  を実現する方法が効果的である。

20

#### 【0042】

また、蛍光体をピーク波長の異なる2種以上、さらには3種以上と増やすことにより白色光源として長時間使用した際の色度変化を抑制することができる。

30

#### 【0043】

また、蛍光体と樹脂とを具備する蛍光体層は、蛍光体層中の蛍光体の質量比が5質量%以上50質量%以下である。蛍光体層中の質量比が5質量%未満では蛍光体の存在割合が小さいため、蛍光体層全体として輝度のばらつきを生じやすい。また、50質量%を超えると蛍光体層の存在割合が大き過ぎて、青色発光ダイオードからの青色光が蛍光体層を通過する割合が減り、白色光を得難くなる。

#### 【0044】

蛍光体層中の蛍光体の存在比率（質量比）を制御することにより、輝度の均一化を可能とし、さらに長時間使用した際の輝度低下を抑制することができる。蛍光体の存在割合は、好ましくは7～35%である。

40

#### 【0045】

また、蛍光体層中の蛍光体の質量比の測定方法は、蛍光体層を形成するための蛍光体粉末と樹脂の混合比により測定する方法がある。この方法の場合、蛍光体層中の蛍光体の質量比  $= [(\text{混合する蛍光体の重量} / (\text{混合する蛍光体の重量} + \text{混合する樹脂の重量})) \times 100 (\%)$  となる。

#### 【0046】

また、完成した蛍光体層から測定する場合は、所定量の蛍光体層を切り出し、切り出した試料の重量を測定した後、樹脂成分を除去して蛍光体の重量を測定し、蛍光体層中の蛍光体の質量比  $= (\text{蛍光体の重量} / \text{切り出した試料の重量}) \times 100 (\%)$ 、により求めることも有効である。

50

## 【0047】

なお、上記樹脂成分の除去には、蛍光体が酸化しない雰囲気や温度で焼失させる方法が好ましい。蛍光体層を構成する樹脂はシリコン樹脂などの熱硬化性樹脂が使用されるので、このような方法であっても測定できる。また、蛍光体層は均一に蛍光体が混合されていないと輝度のばらつきの原因となる。そのため、蛍光体層の一部を切り出して試料としたとして全体の蛍光体層中の蛍光体の質量比としても問題はない。

## 【0048】

また、後述するように蛍光体層と発光ダイオードとの間に透明樹脂層を設けた場合、この透明樹脂層は蛍光体層には含めない。また、電球型白色光源の場合、必要に応じてグローブと蛍光体層との間に接着剤層を設ける場合があるが、この場合の接着剤層は蛍光体層には含めない。本発明では、蛍光体と樹脂とを混合した蛍光体層中の蛍光体の質量比を制御することが重要なのである。

10

## 【0049】

また、蛍光体層の厚さは0.01mm以上3mm以下であることが好ましい。蛍光体層の厚さが0.01mm未満と薄いと、発光ダイオードの発光が蛍光体層を透過し過ぎてしまう恐れがある。発光ダイオードの発光が蛍光体層を透過し過ぎてしまうと差異 $A(\lambda)$ を $-0.2 \leq A(\lambda) \leq +0.2$ の範囲に制御し難くなる。

## 【0050】

一方、蛍光体層の厚さが3mmを超えて厚いと発光ダイオードの発光と蛍光体の発光が均一に混合され難くなり、反って差異 $A(\lambda)$ を $-0.2 \leq A(\lambda) \leq +0.2$ の範囲に制御し難くなる。

20

## 【0051】

また、蛍光体層中の蛍光体は、平均粒径 $1\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下が好ましい。さらに好ましくは $3\sim 30\mu\text{m}$ である。蛍光体の平均粒径が $1\mu\text{m}$ 未満と小さいと、小さな蛍光体粉末を製造するのがコストアップの要因となると共に、 $1\mu\text{m}$ 未満の微粉末は凝集性が高く均一な蛍光体層を形成するのが困難となる。一方、 $80\mu\text{m}$ を超えて大きいと、個々の蛍光体粉末が大き過ぎて均一な白色を得難くなる。

## 【0052】

また、蛍光体は、 $421\sim 490\text{nm}$ の発光源で励起させたとき、蛍光体の発光ピーク波長が $420\sim 700\text{nm}$ の範囲にあることが好ましい。また、蛍光体は、ピーク波長の異なる2種類以上、さらには3種類以上、4種以上の蛍光体を用いることが好ましい。また、各蛍光体のピーク波長は、 $150\text{nm}$ 以下、さらには $10\sim 100\text{nm}$ 、さらには $10\sim 50\text{nm}$ ずれていることが好ましい。つまり、青色領域～赤色領域にかけて、2種以上、さらには3種以上、4種以上の蛍光体を使ってピーク波長を $10\sim 100\text{nm}$ 毎ずらして組合せることにより、 $-0.2 \leq \text{差異 } A(\lambda) \leq +0.2$ を実現する方法が効果的である。

30

## 【0053】

また、蛍光体をピーク波長の異なる2種以上、さらには3種以上、4種以上と増やすことにより白色光源として長時間使用した際の輝度低下を抑制することができる。蛍光体の発光スペクトルは、適度な半値幅を持ったものであるため、蛍光体の混合種類が増加すると、発光スペクトルの重なりが生じる。同時にそれぞれの蛍光体の発光波長域が他の蛍光体の吸収帯に重なりが生じる。

40

## 【0054】

具体的には、黄色、緑色、赤色の蛍光体（必要に応じ、青色蛍光体を混合することも可）を混合した場合、発光ダイオードの光で励起された黄色蛍光体の発光が、緑色、赤色蛍光体に吸収され、緑色、赤色蛍光体は発光する。この時、緑色蛍光体は発光ダイオードの光と黄色蛍光体からの光の二種類の励起源によって発光することになる。

## 【0055】

同様の現象が緑色蛍光体からの発光が赤色蛍光体に吸収され赤色発光、黄色蛍光体からの発光が赤色蛍光体に吸収され赤色発光と、赤色蛍光体にいたっては、発光ダイオードの

50

光、緑色蛍光体からの発光、黄色蛍光体からの発光と３種類の励起源を持つことになる。このように発光ダイオードによる励起だけでなく、蛍光体の発光をも使って励起される蛍光体を具備することにより、経時変化に強い輝度劣化が抑制された白色光源を提供することができる。なお、蛍光体同士で相互吸収があるか否かは、各蛍光体の励起スペクトルを調査すれば容易に判明する。

#### 【００５６】

蛍光体の材質は、発光ピークが４２０～７００ｎｍにあれば特に限定されるものではないが、４２１～４９０ｎｍで励起される蛍光体として次の蛍光体が好ましい。また、蛍光体の発光スペクトルのピーク波長の半値幅は４０ｎｍ以上、さらには５０～１００ｎｍと広いものが好ましい。この範囲にすれば相互吸収を行い易い。

10

#### 【００５７】

青色蛍光体（Ｂ）の具体例としては、ユーロピウム付活アルカリ土類リン酸塩蛍光体（ピーク波長４４０～４５５ｎｍ）やユーロピウム付活バリウムマグネシウムアルミン酸塩蛍光体（ピーク波長４５０～４６０ｎｍ）などが挙げられる。また、青緑色蛍光体として、ユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩蛍光体（ピーク波長４８０～５００ｎｍ）や、ユーロピウム、マンガン付活バリウムマグネシウムアルミン酸塩蛍光体（ピーク波長５１０～５２０ｎｍ）などが挙げられる。

#### 【００５８】

緑色蛍光体（Ｇ）の具体例としては、ユーロピウム付活オルソ珪酸塩蛍光体（ピーク波長５２０～５５０ｎｍ）、ユーロピウム付活βサイアロン蛍光体（ピーク波長５３５～５４５ｎｍ）、ユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン蛍光体（ピーク波長５１０～５３０ｎｍ）などが挙げられる。

20

#### 【００５９】

また、黄色蛍光体（Ｙ）の具体例としては、ユーロピウム付活オルソ珪酸塩蛍光体（ピーク波長５５０～５８０ｎｍ）やセリウム付活希土類アルミニウムガーネット蛍光体（ピーク波長５５０～５８０ｎｍ）などが挙げられる。

#### 【００６０】

また、赤色蛍光体（Ｒ）の具体例としては、ユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン蛍光体（ピーク波長６００～６５０ｎｍ）、ユーロピウム付活カルシウムストロンチウム窒化物蛍光体（ピーク波長６１０～６５０ｎｍ）、ユーロピウム付活酸硫化ランタン蛍光体（ピーク波長６２０～６３０ｎｍ）、マンガン付活マグネシウムフロロジーマネート（ピーク波長６４０～６６０ｎｍ）やユーロピウム付活アルカリ土類窒化物蛍光体（ピーク波長６００～６５０ｎｍ）などが挙げられる。

30

#### 【００６１】

前記差異Ａ（λ）を制御するためには、上記青色蛍光体、青緑色蛍光体、緑色蛍光体、黄色蛍光体および赤色蛍光体の中から２種以上、さらには３種以上用いることが好ましい。また、色温度の制御は、それぞれの蛍光体の混合割合を変えることにより制御できる。

#### 【００６２】

また、蛍光体層と発光ダイオードとの間に空間があることが好ましい。また、蛍光体層は発光ダイオード上に設けられていることが好ましい。また、蛍光体層は透明樹脂層を介して発光ダイオード上に設けられていることが好ましい。

40

#### 【００６３】

次に白色光源の構造について説明する。図１９に本発明の白色光源の一実施形態としての電球型白色光源を示した。図中、符号１はＬＥＤ電球（白色光源）、２はＬＥＤモジュール、３は基体部、４はグローブ、５は絶縁部材、６は口金、７は基板、８はＬＥＤチップ、９は蛍光体層、１０は透明樹脂層である。図１９は蛍光体層と発光ダイオードとの間に空間を設けた構造の一例を示すものである。

#### 【００６４】

すなわち、図１９に示すＬＥＤ電球１は、ＬＥＤモジュール２と、ＬＥＤモジュール２が設置された基体部３と、ＬＥＤモジュール２を覆うように基体部３上に取り付けられた

50

ハウジングとしてのグローブ 4 と、基体部 3 の下端部に絶縁部材 5 を介して取り付けられた口金 6 と、基体部 3 内に設けられた点灯回路 11 とを具備する。

【0065】

LEDモジュール 2 は、基板 7 上に実装された紫外乃至紫色発光の LED チップ 8 を備えている。基板 7 上には複数の LED チップ 8 が面実装されている。紫外乃至紫色発光の LED チップ 8 には、InGa<sub>N</sub>系、Ga<sub>N</sub>系、AlGa<sub>N</sub>系等の発光ダイオードが用いられる。基板 7 の表面（さらに必要に応じて内部）には、配線網（図示せず）が設けられており、LED チップ 8 の電極は基板 7 の配線網と電氣的に接続されている。LEDモジュール 2 の側面もしくは底面には、配線 12 が引き出されており、この配線 12 が基体部 3 内に設けられた点灯回路 11 と電氣的に接続されている。LED チップ 8 は、点灯回路 11 を介して印加される直流電圧により点灯する。

10

【0066】

ハウジングとしてのグローブ 4 の内面には、LED チップ 8 から出射された青色光を吸収して白色光を発光する蛍光体層 9 が設けられている。蛍光体層 9 は、2 種以上、さらには 4 種以上のピーク波長の異なる蛍光体を組合せて形成される。また、各種蛍光体は、すべて混合して混合蛍光体層としてもよいし、1～3 種類程度ずつ混合した蛍光体層を多層化した多層蛍光体層としてもよい。

【0067】

また、図 19 ではグローブ 4 の内面に蛍光体層 9 を設けた構造としたが、グローブ 4 の外面や樹脂製グローブ 4 自体に蛍光体を混合する構造であってもよいし、透明樹脂層 10 に蛍光体粒子を混合してもよい。また、本発明に係る白色光源は、上記電球型に限らず、蛍光灯タイプ（長細いもの）、シャンデリアタイプなどにも適用でき、その形状も限定されるものではない。また、図 19 では電球型白色光源を例示したが、本発明はこれに限らず、発光ダイオード上に直接蛍光体層設ける構造にも適用できる。また、透明樹脂層を介して発光ダイオード上に蛍光体層を設ける構造にも適用できる。また、透明樹脂層を介して発光ダイオード上に蛍光体層を設ける場合、透明樹脂層の厚さは 0.01～0.1 mm の範囲であることが好ましい。

20

【0068】

以上のように、差異  $A(\lambda)$  を  $-0.2 \leq A(\lambda) \leq +0.2$  に制御することにより、自然光を再現した白色光源を提供することができる。また、日中、日の出、朝方、夕方などの各自然光を再現した白色光源をそれぞれ組合せて一日の自然光のリズムを再現した白色光源システムとすることもできる。これにより、人体のサーカディアンリズムへの悪影響を抑制した白色光源および白色光源システムを提供することができる。

30

【0069】

（実施例）

（実施例 1）

LED チップとして発光ピーク波長 450 nm の青色発光 LED を用意した。次に、450 nm の電磁波を照射することにより発光する蛍光体として、ピーク波長が 490 nm であるユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩青緑色蛍光体と、ピーク波長が 530 nm であるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体、ピーク波長が 555 nm であるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が 555 nm であるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が 630 nm であるユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体との混合物を用意した。

40

【0070】

なお、各蛍光体の平均粒径は 12  $\mu\text{m}$  とした。なお、ユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体は他の蛍光体の発光により励起される相互吸収を具備するものである。各蛍光体の混合比は重量比（質量比）として青緑色蛍光体：緑色蛍光体：黄色蛍光体：赤色蛍光体＝20：25：15：40 の比率で混合し、透明樹脂（シリコーン樹脂）と混合して、グローブ内面に塗布することにより、図 19 に示すような電球型白色光源を作製した。得られた白色光源は、発光色の相関色温度が 2700 K であった。この色温度 2

50

700 Kは朝日の自然光と同等の色温度である。また、蛍光体層の厚さは0.2 mmとした。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は10質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。

#### 【0071】

JIS-C-8152に準じて積分球を使用した全光束測定により、実施例1の電球型白色光源の発光スペクトルを測定した結果を図3に示す。また、図1の分光視感分布 $V(\lambda)$ を使用して、実施例1の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ を求めたものが図5である。なお、実施例1の $\lambda_{max1}$ は574 nmである。

#### 【0072】

次に、色温度2700 Kの黒体輻射の発光スペクトルをプランク分布（図2の式）により求めたものが図4である。図4の発光スペクトルを $B(\lambda)$ として、 $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ を求めたものが図6である。なお、 $\lambda_{max2}$ は572 nmである。

#### 【0073】

実施例1の差異 $A(\lambda) = [(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))]$ により求めた。その結果を図7に示す。図7から明らかなように、実施例1に係る白色光源では、日中の自然光の発光スペクトルとの差異 $A(\lambda)$ が可視光領域である380~780 nmにおいて-0.2~+0.2の範囲であり、具体的に差異 $A(\lambda)$ は-0.03~+0.11であった。

#### 【0074】

（実施例2）

LEDチップとして発光ピーク波長が445 nmの青色発光LEDを用意した。次に、445 nmの電磁波を照射することにより発光する蛍光体として、ピーク波長が490 nmであるユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩青緑色蛍光体と、ピーク波長が530 nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体と、ピーク波長が555 nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体と、ピーク波長が530 nmであるユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体との混合物を用意した。なお、ユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体は他の蛍光体の発光により励起される相互吸収を具備するものである。

#### 【0075】

なお、各蛍光体の平均粒径は17  $\mu\text{m}$ とした。各蛍光体の混合比は重量比（質量比）として、青緑色蛍光体：緑色蛍光体：黄色蛍光体：赤色蛍光体=30：30：20：20の比率で混合し、透明樹脂（シリコーン樹脂）と混合して、グローブ内面に塗布することにより、図19に示す電球型白色光源1を作製した。得られた白色光源1は、発光色の相関色温度が4100 Kであった。この色温度4100 Kは朝方の自然光と同等の色温度である。

#### 【0076】

また、蛍光体層の厚さは0.5 mmとした。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は20質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。

#### 【0077】

実施例1と同様に積分球を使用した全光束測定により、実施例2の白色光源の発光スペクトルを調査した。その結果を図8に示す。また、図1の分光視感効率 $V(\lambda)$ を使って、実施例2の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{max1}) \times V(\lambda_{max1}))$ を求めたものが図10である。なお、実施例2の $\lambda_{max1}$ は559 nmである。

#### 【0078】

次に、色温度4100 Kの黒体輻射の発光スペクトルをプランク分布（図2の式）により求めたものが図9である。図9の発光スペクトルを $B(\lambda)$ として、 $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{max2}) \times V(\lambda_{max2}))$ を求めたものが図11である。なお、

$\lambda_{\max 2}$ は560nmである。

#### 【0079】

実施例2の差異 $A(\lambda)$ を $[(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{\max 1}) \times V(\lambda_{\max 1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{\max 2}) \times V(\lambda_{\max 2}))]$ により求めた。その結果を図12に示す。図12から明らかなように、実施例2に係る白色光源は、朝方の自然光の発光スペクトルとの差異 $A(\lambda)$ が可視光領域である380~780nmにおいて-0.2~+0.2の範囲であり、具体的に差異 $A(\lambda)$ は-0.04~+0.07であった。

#### 【0080】

(実施例3)

LEDチップとして発光ピーク波長が450nmの青色発光LEDを用意した。450nmの電磁波を照射することにより発光する蛍光体は、ピーク波長が490nmであるユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩青緑色蛍光体と、ピーク波長が530nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体と、ピーク波長が555nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が630nmであるユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体との混合物から構成した。なお、ユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体は他の蛍光体の発光により励起される相互吸収を具備するものである。

#### 【0081】

なお、各蛍光体の平均粒径は11 $\mu\text{m}$ とした。蛍光体の混合比は重量比として青緑色蛍光体：緑色蛍光体：黄色蛍光体：赤色蛍光体=40：30：10：20の比率で混合し、透明樹脂（シリコン樹脂）と混合して、グローブ内面に塗布することにより、図19に示す電球型白色光源1を作製した。得られた白色光源1の発光色の色温度は相関色温度5400Kであった。この白色光源の色温度は日中の自然光と同等の色温度である。

#### 【0082】

また、蛍光体層の厚さは0.3mmとした。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は15質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。

#### 【0083】

実施例1と同様に積分球を使った全光束測定により、実施例3に係る白色光源の発光スペクトル $P(\lambda)$ を調査した。その結果を図13に示す。また、図1の分光視感効率 $V(\lambda)$ を使用して、実施例3の $(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{\max 1}) \times V(\lambda_{\max 1}))$ を求めたものが図15である。なお、実施例3の $\lambda_{\max 1}$ は550nmである。

#### 【0084】

次に、色温度5400Kの黒体輻射の発光スペクトルをプランク分布（図2の式）により求めたものが図14である。図14の発光スペクトルを $B(\lambda)$ として、 $(B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{\max 2}) \times V(\lambda_{\max 2}))$ を求めたものが図16である。なお、 $\lambda_{\max 2}$ は555nmである。

#### 【0085】

実施例3の差異 $A(\lambda)$ を $[(P(\lambda) \times V(\lambda)) / (P(\lambda_{\max 1}) \times V(\lambda_{\max 1})) - (B(\lambda) \times V(\lambda)) / (B(\lambda_{\max 2}) \times V(\lambda_{\max 2}))]$ により求めた。その結果を図17に示す。図17から明らかなように、実施例3に係る白色光源は、日中の自然光の発光スペクトルとの差異 $A(\lambda)$ が、可視光領域である380~780nmにおいて-0.2~+0.2の範囲であり、具体的に差異 $A(\lambda)$ は-0.06~+0.06であった。

#### 【0086】

(比較例1)

発光ピーク波長460nmの青色発光ダイオードと、セリウム付活イットリウムアルミニウムガーネット黄色蛍光体（平均粒径5 $\mu\text{m}$ ）とを組み合わせ、比較例1に係る白色光源を作製した。なお、蛍光体層は、シリコン樹脂とセリウム付活イットリウムアルミ

10

20

30

40

50

ニウムガーネット黄色蛍光体を混合して、発光ダイオード上に直接塗付して、厚さ0.1 mmとしたものである。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は7質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。また、比較例1の白色光源の色温度は5100 Kであり、差異A(λ)は図18に示した通り-0.28~+0.04であった。

#### 【0087】

各実施例と比較例1との白色光源を同照度下で被験者(各10人)が日中9:00から17:00まで過ごし、その夜(21:00)にメラトニンの分泌量の測定を行った。なお、メラトニンの分泌量の分析は唾液検査で実施した。また、比較例1におけるメラトニン分泌量を100としたときの各実施例の分泌量(10人の平均値)を示した。その結果

10

#### 【表1】

| 試料No. | メラトニン分泌量 |
|-------|----------|
| 実施例1  | 120      |
| 実施例2  | 116      |
| 実施例3  | 113      |
| 比較例1  | 100      |

20

#### 【0088】

上記表1に示す結果から明らかなように、各実施例に係る白色光源においては、従来の比較例1の白色光源を使用した場合と比較して、被験者のメラトニンの分泌量が多くなった。メラトニンは脳の松果体から分泌されるホルモンの一種であり、一般的に昼間はメラトニンの分泌量は低く、夜間は高くなるといわれている。これは日中においては自然光の下で暮らしているためと考えられている。そのため、メラトニンは安らかな睡眠を得るために必要なホルモンと考えられている。また、米国等では体内の酸化を防止するサプリメントとしても広く使用されている。

#### 【0089】

従って、自然光を浴びることが困難な環境(病棟や長時間の室内活動など)では本実施例の白色光源を使用することにより、自然光を浴びのと同等の効果が得られ、睡眠障害やサーカディアンリズムが狂うことを抑制する効果が期待できる。

30

#### 【0090】

##### (実施例4)

LEDチップとして発光ピーク波長450 nmの青色発光LEDを用意した。次に、450 nmの電磁波を照射することにより発光する蛍光体として、ピーク波長が490 nmであるユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩青緑色蛍光体と、ピーク波長が530 nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体、ピーク波長が555 nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が555 nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が630 nmであるユーロピウム付活スト

40

#### 【0091】

なお、各蛍光体の平均粒径は18 μmとした。各蛍光体の混合比は重量比(質量比)として青緑色蛍光体:緑色蛍光体:黄色蛍光体:赤色蛍光体=20:25:15:40の比率で混合し、透明樹脂(シリコーン樹脂)と混ぜて、発光ダイオード上に直接蛍光体層を設けた。実施例4はワンチップ型の白色光源である。また、蛍光体層の厚さは0.1 mmとした。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は10質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。

50

## 【0092】

また、得られた白色光源は、発光色の相関色温度が2700Kであった。この色温度2700Kは朝日の自然光と同等の色温度である。また、実施例4の発光スペクトルを調べた結果、実施例1と同じであり、差異A(λ)は-0.03~+0.11であった。

## 【0093】

(実施例5)

LEDチップとして発光ピーク波長が445nmの青色発光LEDを用意した。次に、445nmの電磁波を照射することにより発光する蛍光体として、ピーク波長が490nmであるユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩青緑色蛍光体と、ピーク波長が530nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体と、ピーク波長が555nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が630nmであるユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体との混合物を用意した。なお、ユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体は他の蛍光体の発光により励起される相互吸収を具備するものである。

## 【0094】

なお、各蛍光体の平均粒径は8μmとした。各蛍光体の混合比は重量比(質量比)として、青緑色蛍光体：緑色蛍光体：黄色蛍光体：赤色蛍光体=30：30：20：20の比率で混合し、透明樹脂(シリコーン樹脂)と混合した。

## 【0095】

次に、発光ダイオード上に厚さ0.01mmの透明樹脂層(シリコーン樹脂)を設け、その上に蛍光体層を設けた。実施例5はワンチップ型の白色光源である。このとき、蛍光体層の厚さは0.2mmとした。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は8質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。

## 【0096】

また、得られた白色光源1は、発光色の相関色温度が4100Kであった。この色温度4100Kは朝方の自然光と同等の色温度である。また、実施例5の発光スペクトルを調べた結果、実施例2と同じであり、差異A(λ)は-0.04~+0.07であった。

## 【0097】

(実施例6)

LEDチップとして発光ピーク波長が450nmの青色発光LEDを用意した。450nmの電磁波を照射することにより発光する蛍光体は、ピーク波長が490nmであるユーロピウム付活ストロンチウムアルミン酸塩青緑色蛍光体と、ピーク波長が530nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩緑色蛍光体と、ピーク波長が555nmであるユーロピウム付活オルソ珪酸塩黄色蛍光体と、ピーク波長が630nmであるユーロピウム付活ストロンチウムサイアロン赤色蛍光体との混合物から構成した。

## 【0098】

なお、各蛍光体の平均粒径は15μmとした。蛍光体の混合比は重量比として青緑色蛍光体：緑色蛍光体：黄色蛍光体：赤色蛍光体=40：30：10：20の比率で混合し、透明樹脂(シリコーン樹脂)と混合した。

## 【0099】

次に、発光ダイオード上に厚さ0.02mmの透明樹脂層(シリコーン樹脂)を設け、その上に蛍光体層を設けた。実施例6はワンチップ型の白色光源である。このとき、蛍光体層の厚さは0.3mmとした。また、蛍光体層中の蛍光体の質量比は12質量%であった。この値は、混合した蛍光体と樹脂の質量比から求めたものである。

## 【0100】

また、得られた白色光源1の発光色の色温度は相関色温度5400Kであった。この白色光源の色温度は日中の自然光と同等の色温度である。また、実施例6の発光スペクトルを調べた結果、実施例3と同じであり、差異A(λ)は-0.06~+0.06であった。

。

10

20

30

40

50

## 【0101】

実施例4～6の白色光源を用いて実施例1と同様の方法にてメラトニンの分泌量を調べた。その結果を表2に示す。

【表2】

| 試料No. | メラトニン分泌量 |
|-------|----------|
| 実施例4  | 122      |
| 実施例5  | 118      |
| 実施例6  | 114      |

10

## 【0102】

上記表2に示す結果から明らかなように、各実施例に係る白色光源においては、従来の比較例1の白色光源を使用した場合と比較して、被験者のメラトニンの分泌量が多くなった。

## 【0103】

また、各実施例においては、日の出の自然光（実施例1、実施例4）、朝方の自然光（実施例2、実施例5）および日中の自然光（実施例3、実施例6）を別々に作製したが、適宜、それらの複数個を組み合わせて白色光源システムを構成することにより、一日の自然光と同等の光を再現することもできる。

20

## 【0104】

具体的には、図20に示すように、日中の自然光を発するためのLEDチップ8aおよび蛍光体層9aと、日の出の自然光を発するためのLEDチップ8bおよび蛍光体層9bと、朝方の自然光を発するためのLEDチップ8cおよび蛍光体層9cとを共通した基板7上に配置し、これらのLEDチップ8a、8b、8cを同一の共通するグローブ4内に収容して白色光源システム1aを構成することも可能である。

## 【0105】

各LEDチップ8a、8b、8cは、配線12aによって点灯回路11aに接続されている。使用者は要望に応じて点灯回路11aに内蔵された図示しない切替機構によって適宜点灯させるLEDチップを選択できるように構成されている。

30

## 【0106】

上記構成を有する白色光源システム1aによれば、使用者の要望や照明周期に応じて日中の自然光、日の出の自然光および朝方の自然光を1基の白色光源システム1aから選択的に享受することが可能になる。すなわち、日中、日の出、朝方、夕方などの各自然光を再現した白色光源をそれぞれ組合せて一日の自然光のリズムを再現した白色光源システムとすることもできる。

## 【0107】

（実施例7～8）

表3に示すように蛍光体の組合せを変えて差異A（λ）が-0.2～+0.2の範囲になるように混合して、実施例1と同様の色温度2700Kの電球型白色光源を作製した。また、蛍光体の平均粒径は5～15μm、蛍光体層の厚さは0.1～0.5mmの範囲内とした。また、表3に示した赤色蛍光体は、LEDの発光のみならず、緑色蛍光体の光などによっても励起されるものである。

40

【表 3】

| 試料No. | 蛍光体(混合比:質量比%)                           |                              |                              |                                      | 差異A(λ)          |
|-------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|       | 青緑色                                     | 緑色                           | 黄色                           | 赤色                                   |                 |
| 実施例7  | Eu付活<br>ストロンチウム<br>アルミン酸<br>蛍光体<br>(20) | Eu付活<br>ホリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(25) | Eu付活<br>ホリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(15) | Eu付活<br>アルカリ土類<br>窒化物<br>蛍光体<br>(40) | -0.15~<br>+0.18 |
| 実施例8  | なし                                      | Eu付活<br>βサイロン<br>蛍光体<br>(30) | Eu付活<br>ホリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(20) | Eu付活<br>アルカリ土類<br>窒化物<br>蛍光体<br>(50) | -0.16~<br>+0.19 |

10

## 【0108】

(実施例9～10)

表4に示すように蛍光体の組合せを変えて差異A(λ)が-0.2～+0.2の範囲になるように混合して、実施例2と同様の色温度4100Kの電球型白色光源を作製した。また、蛍光体の平均粒径は5～15μm、蛍光体層の厚さは0.1～0.5mmの範囲内とした。また、表3に示した赤色蛍光体は、LEDの発光のみならず、緑色蛍光体の光などによっても励起されるものである。

20

【表 4】

| 試料No. | 蛍光体(混合比:質量比%)                           |                              |                              |                                      | 差異A(λ)          |
|-------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|       | 青緑色                                     | 緑色                           | 黄色                           | 赤色                                   |                 |
| 実施例9  | Eu付活<br>ストロンチウム<br>アルミン酸<br>蛍光体<br>(30) | Eu付活<br>ホリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(20) | Eu付活<br>ホリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(20) | Eu付活<br>アルカリ土類<br>窒化物<br>蛍光体<br>(30) | -0.12~<br>+0.14 |
| 実施例10 | なし                                      | Eu付活<br>βサイロン<br>蛍光体<br>(35) | Eu付活<br>ホリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(25) | Eu付活<br>アルカリ土類<br>窒化物<br>蛍光体<br>(40) | -0.13~<br>+0.16 |

30

## 【0109】

(実施例11～12)

表5に示すように蛍光体の組合せを変えて差異A(λ)が-0.2～+0.2の範囲になるように混合して、実施例3と同様の色温度5400Kの電球型白色光源を作製した。また、蛍光体の平均粒径は5～15μm、蛍光体層の厚さは0.1～0.5mmの範囲内とした。また、表3に示した赤色蛍光体は、LEDの発光のみならず、緑色蛍光体の光などによっても励起されるものである。

40

【表 5】

| 試料No. | 蛍光体(混合比:質量比%)                           |                              |                              |                                      | 差異A(λ)          |
|-------|-----------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|       | 青緑色                                     | 緑色                           | 黄色                           | 赤色                                   |                 |
| 実施例11 | Eu付活<br>ストロンチウム<br>アルミン酸<br>蛍光体<br>(40) | Eu付活<br>ポリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(30) | Eu付活<br>ポリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(10) | Eu付活<br>アルカリ土類<br>窒化物<br>蛍光体<br>(20) | -0.11~<br>+0.11 |
| 実施例12 | なし                                      | Eu付活<br>βサイロン<br>蛍光体<br>(45) | Eu付活<br>ポリ珪酸塩<br>蛍光体<br>(20) | Eu付活<br>アルカリ土類<br>窒化物<br>蛍光体<br>(35) | -0.12~<br>+0.14 |

10

## 【0110】

(実施例1A～12Aおよび比較例1A)

実施例1～12および比較例1の白色光源を用いて色度変化特性を調べた。色度変化の大きさの測定方法は、各白色光源を積分球にて発光スペクトルを測定し、 $u'$ 、 $v'$ を計算により求める。初期点灯時から1時間後の $u'$ 、 $v'$ を測定する。次に、そのまま6000時間連続点灯させ、6000時間経過時点の $u'$ 、 $v'$ を測定する。なお、測定は室温25℃、湿度60%の室内環境で行った。1時間後の( $u'$ 、 $v'$ )と6000時間経過後の( $u'$ 、 $v'$ )から、それぞれ差分 $\Delta u'$ 、 $\Delta v'$ を求める。色度変化の大きさは、色度変化の大きさ $= [(\Delta u')^2 + (\Delta v')^2]^{1/2}$ の式により求めた。その結果を表6に示す。

20

【表 6】

| 試料No.  | 白色光源  | 連続点灯6000時間後の<br>色度変化の大きさ |
|--------|-------|--------------------------|
| 実施例1A  | 実施例1  | 0.005                    |
| 実施例2A  | 実施例2  | 0.007                    |
| 実施例3A  | 実施例3  | 0.006                    |
| 実施例4A  | 実施例4  | 0.008                    |
| 実施例5A  | 実施例5  | 0.007                    |
| 実施例6A  | 実施例6  | 0.009                    |
| 実施例7A  | 実施例7  | 0.009                    |
| 実施例8A  | 実施例8  | 0.008                    |
| 実施例9A  | 実施例9  | 0.007                    |
| 実施例10A | 実施例10 | 0.006                    |
| 実施例11A | 実施例11 | 0.008                    |
| 実施例12A | 実施例12 | 0.008                    |
| 比較例1A  | 比較例1  | 0.018                    |

30

40

## 【0111】

上記表6に示す結果から明らかなように、本実施例に係る白色光源は色度変化が抑制されていた。このため、自然光を再現した上で、色度変化を抑制した信頼性の高い白色光源

50

を提供できることが判明した。

#### 【0112】

次に以下の実施例に係る白色光源について輝度劣化特性を調査した。

#### 【0113】

(実施例1A～6Aおよび比較例2A)

すなわち、実施例1～6の白色光源を用いて輝度劣化特性を調査した。輝度劣化特性の測定方法は、各白色光源を積分球中にて点灯し、その全光束を測定した。測定環境は、暗所、常温、湿度60%とした。この条件にて、点灯1時間後と連続点灯5000時間後の全光束による輝度の差を求めた。

#### 【0114】

具体的には、輝度劣化特性＝〔(点灯1時間後の輝度－連続点灯5000時間後の輝度)／点灯1時間後の輝度〕×100(%)の計算式にて求めた。また、比較例2に係る白色光源は、蛍光体層中の蛍光体の質量比を2%にした以外は実施例1と同じ構成で調製した。その結果を表7に示す。

#### 【表7】

| 試料No. | 白色光源 | 輝度劣化特性(%) |
|-------|------|-----------|
| 実施例1A | 実施例1 | 2.1       |
| 実施例2A | 実施例2 | 2.4       |
| 実施例3A | 実施例3 | 2.5       |
| 実施例4A | 実施例4 | 1.9       |
| 実施例5A | 実施例5 | 2.0       |
| 実施例6A | 実施例6 | 2.3       |
| 比較例2A | 比較例2 | 6.3       |

#### 【0115】

上記表7に示す結果から明らかなように、本実施例に係る白色光源は輝度劣化が抑制されていた。このため、自然光を再現した上で、輝度劣化を抑制した信頼性の高い白色光源を提供できることが判明した。

#### 【産業上の利用分野】

#### 【0116】

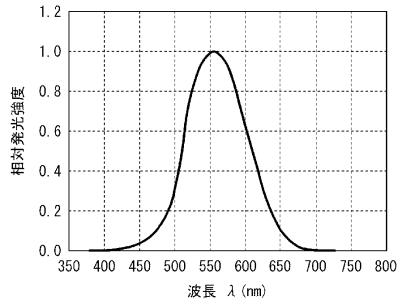
本発明に係る白色光源によれば、自然光と同じ発光スペクトルを再現できる。そのため、白色光源からの白色光を長時間浴びても人体への悪影響を自然光と同等のレベルにすることができる。また、ピーク波長の異なる3種以上の蛍光体を使用した場合には、長時間使用した際の色度変化を抑制した信頼性の高い白色光源を提供することができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0117】

1…LED電球(白色光源)、1a…白色光源システム、2、2a…LEDモジュール、3…基体部、4…グローブ(ハウジング)、5…絶縁部材、6…口金、7…基板、8、8a、8b、8c…LEDチップ、9、9a、9b、9c…蛍光体層、10…透明樹脂層、11、11a…点灯回路、12、12a…配線。

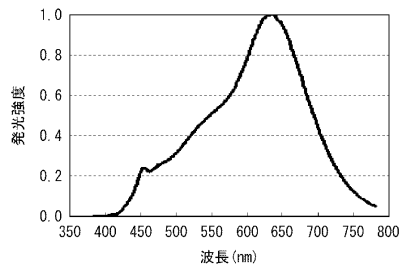
【図 1】



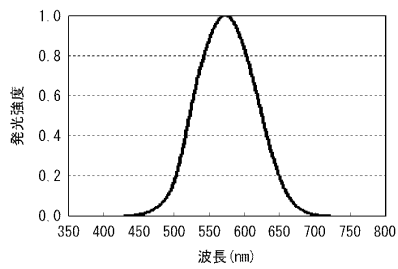
【図 2】

$$B(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

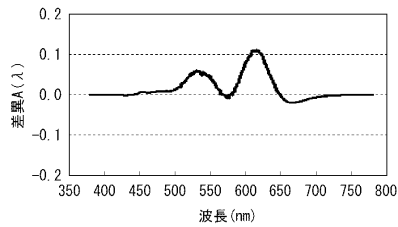
【図 3】



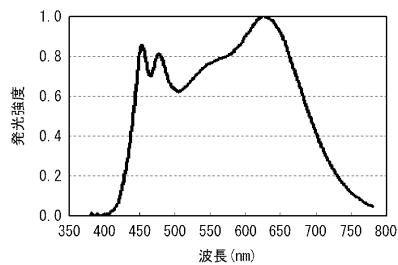
【図 6】



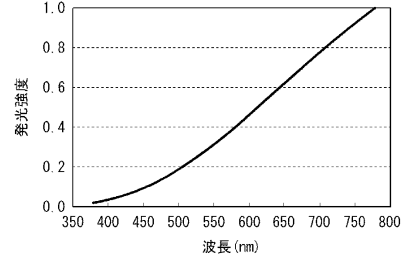
【図 7】



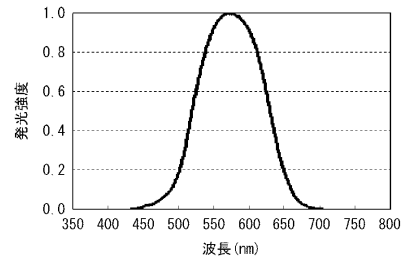
【図 8】



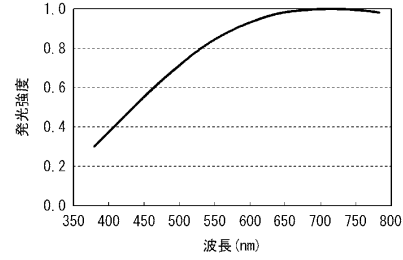
【図 4】



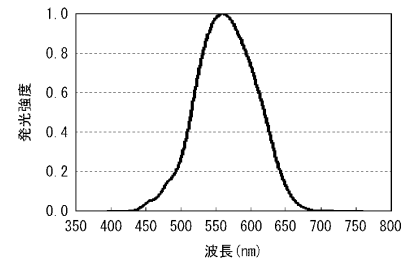
【図 5】



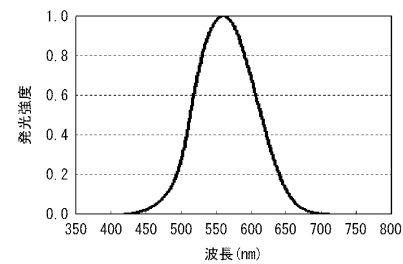
【図 9】



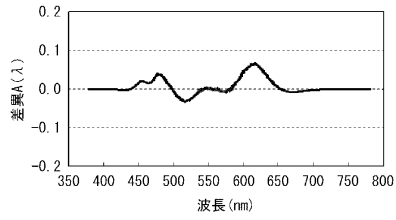
【図 10】



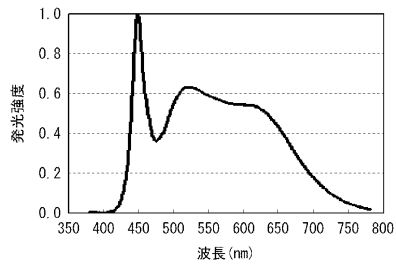
【図 11】



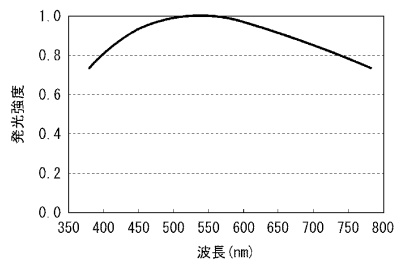
【図 1 2】



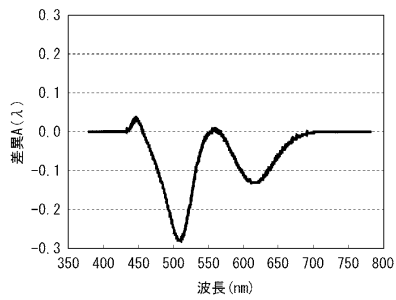
【図 1 3】



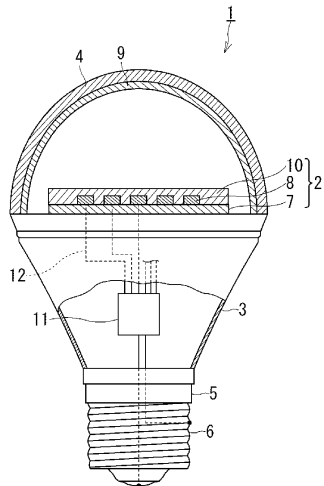
【図 1 4】



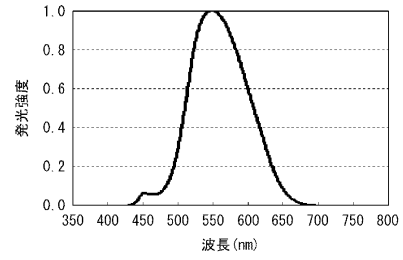
【図 1 8】



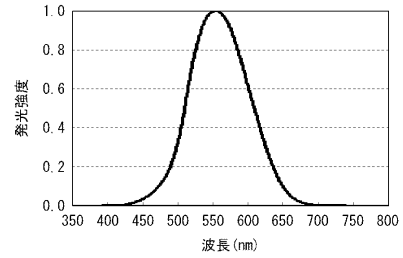
【図 1 9】



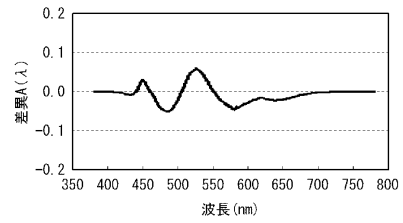
【図 1 5】



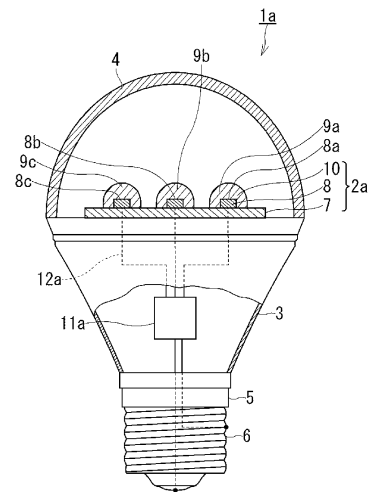
【図 1 6】



【図 1 7】



【図 2 0】



---

フロントページの続き

審査官 金高 敏康

- (56)参考文献 国際公開第2011/024818 (WO, A1)  
特開2003-034791 (JP, A)  
特開2010-268004 (JP, A)  
特開2007-250817 (JP, A)  
国際公開第2008/153120 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

|      |       |   |       |
|------|-------|---|-------|
| H01L | 33/50 | — | 33/64 |
| F21S | 2/00  |   |       |
| F21V | 3/04  |   |       |