

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5964581号  
(P5964581)

(45) 発行日 平成28年8月3日(2016.8.3)

(24) 登録日 平成28年7月8日(2016.7.8)

(51) Int.Cl.

F 1

H01K 1/04 (2006.01)  
H01K 1/08 (2006.01)H01K 1/04  
H01K 1/08

請求項の数 9 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2011-284041 (P2011-284041)  
 (22) 出願日 平成23年12月26日 (2011.12.26)  
 (65) 公開番号 特開2013-134873 (P2013-134873A)  
 (43) 公開日 平成25年7月8日 (2013.7.8)  
 審査請求日 平成26年12月19日 (2014.12.19)

(出願人による申告) 平成23年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構省エネルギー革新技術開発事業／挑戦研究（事前研究一体型）／メゾスコピック材料を用いた電力光無損失変換技術の研究開発、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 000002303  
 スタンレー電気株式会社  
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号  
 (74) 代理人 110000888  
 特許業務法人 山王坂特許事務所  
 (72) 発明者 松本 貴裕  
 東京都目黒区中目黒2-9-13 スタン  
 レー電気株式会社内  
 審査官 橋本 直明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】白熱電球

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

透光性気密容器と、当該透光性気密容器内に配置されたフィラメントと、前記フィラメントに電流を供給するためのリード線とを有する白熱電球であつて、

前記フィラメントは、金属材料により構成された基体と、前記基体を被覆する白色散乱体層とを有し、

前記白色散乱体層は、白色散乱体粒子から構成され、

前記白色散乱体層には、可視光領域の光を吸収し可視光領域の放射率を増大させ、赤外光領域の放射率を抑制する可視光吸収材が添加されていることを特徴とする白熱電球。

## 【請求項2】

請求項1に記載の白熱電球において、前記白色散乱体粒子は、イットリア、ハフニア、ルテチア、トリア、マグネシア、ジルコニア、イッテルビア、ストロンチア、酸化カルシウム、酸化ベリリウム、酸化ホルミウム、窒化ジルコニア、窒化チタン、および、窒化ホウ素、のうちのいずれかを含有することを特徴とする白熱電球。

## 【請求項3】

請求項1に記載の白熱電球において、前記可視光吸収材は、前記白色散乱体粒子にドープされた不純物元素であることを特徴とする白熱電球。

## 【請求項4】

請求項3に記載の白熱電球において、前記不純物元素は、Ce、Eu、Mn、Ti、Sn、Tb、Au、Ag、Cu、Al、Ni、W、Pb、As、Tm、Ho、Er、Dy、

10

20

および、Prのうちのいずれか一つを含むことを特徴とする白熱電球。

【請求項5】

請求項1に記載の白熱電球において、前記可視光吸収材は、前記白色散乱体粒子にドープされた金属粒子であることを特徴とする白熱電球。

【請求項6】

請求項5に記載の白熱電球において、前記金属粒子は、W、Ta、Mo、Au、Ag、Cu、Al、Ti、Ni、Co、Cr、Si、V、Mn、Fe、Nb、Ru、Pt、Pd、Hf、Y、Zr、Re、Os、および、Irのうちのいずれか一つを含む粒子であることを特徴とする白熱電球。

【請求項7】

請求項6に記載の白熱電球において、前記金属粒子の粒径は、2nm以上5μm以下であることを特徴とする白熱電球。

【請求項8】

請求項1に記載の白熱電球において、前記白色散乱体層を構成する白色散乱体粒子の粒子径は、50nm以上50μm以下であることを特徴とする白熱電球。

【請求項9】

請求項1に記載の白熱電球において、前記白色散乱体粒子は、表面吸着分子の除去処理および表面の結晶欠陥回復処理のうちの少なくとも一方が施されていることを特徴とする白熱電球。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、エネルギー利用効率を改善した光源用フィラメントに関し、特に、フィラメントを用いた白熱電球ならびに熱電子放出源に関する。

【背景技術】

【0002】

タンゲステンフィラメント等に電流を流すことにより、フィラメントを加熱し、電球とする白熱電球が広く用いられている。白熱電球は、太陽光に近い演色性に優れた放射スペクトルが得られ、白熱電球の電力から光への変換効率は80%以上になるが、放射光の波長成分は、図1に示すように赤外放射光成分が90%以上である（図1の3000Kの場合）。このため、白熱電球の電力から可視光への変換効率は、凡そ15~1m/Wと低い値になる。一方、蛍光灯は、電力から可視光への変換効率が約90~1m/Wであり、白熱電球よりも大きい。このため、白熱電球は、演色性に優れているが、環境負荷が大きいという問題がある。

【0003】

白熱電球を高効率化・高輝度化・長寿命化する試みとして、様々な提案がなされている。例えば、特許文献1および2には、電球内部に不活性ガスやハロゲンガスを封入することにより、蒸発したフィラメント材料をハロゲン化してフィラメントに帰還させ（ハロゲンサイクル）、フィラメント温度をより高くする構成が提案されている。一般的にこれらはハロゲンランプと呼ばれている。これにより、可視光への電力変換効率の上昇およびフィラメント寿命の延長の効果が得られる。この構成では、高効率化並びに長寿命化のために、封入ガスの成分並びに圧力の制御が重要となる。

【0004】

特許文献3~5には、電球ガラスの表面に赤外線反射コートを施し、フィラメントから放射された赤外光を反射して、フィラメントに戻し、吸収させる構成が開示されている。これにより、赤外光をフィラメントの再加熱に利用し、高効率化を図っている。

【0005】

特許文献6~9には、フィラメント自体に微細構造体を作製し、その微細構造体の物理的効果により、赤外放射を抑制し、可視光放射の割合を高めるという構成が提案されている。

10

20

30

40

50

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

- 【特許文献1】特開昭60-253146号公報  
 【特許文献2】特開昭62-10854号公報  
 【特許文献3】特開昭59-58752号公報  
 【特許文献4】特表昭62-501109号公報  
 【特許文献5】特開2000-123795号公報  
 【特許文献6】特表2001-519079号公報  
 【特許文献7】特開平6-5263号公報  
 【特許文献8】特開平6-2167号公報  
 【特許文献9】特開2006-205332号公報

10

## 【非特許文献】

## 【0007】

- 【非特許文献1】F. Kusunoki et al., Jpn. J. Appl. Phys. 43, 8A, 5253(2004).

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

しかしながら、特許文献1、2のようにハロゲンサイクルを利用する技術は、寿命延伸効果を図ることはできるが、変換効率を大きく改善することは困難であり、現状、20 1 m / W程度の効率である。

20

## 【0009】

また、特許文献3-5のように、赤外放射を赤外線反射コートで反射して、フィラメントに再吸収させる技術は、フィラメントによる赤外光の反射率が70%と高いために再吸収が効率良く起こらない。また、赤外線反射コートで反射された赤外光が、フィラメント以外の他の部分、例えばフィラメント保持部分並びに口金等に吸収され、フィラメントの加熱に利用されない。このため、本技術により、変換効率を大きく改善することは困難である。現状、20 1 m / W程度の効率となる。

30

## 【0010】

特許文献6-9のように微細構造により赤外放射光の抑制効果を図る技術は、非特許文献1のように赤外放射スペクトルの極一部分の波長に対して放射増強並びに抑制効果を示す報告は存在するものの、広範囲な赤外光全体に亘って赤外放射光の抑制を図ることは非常に困難である。これは、ある波長が抑制されると、別の波長は増強される性質のためである。このため、本技術を利用して大幅な効率改善を図ることは難しいと考えられている。また、微細構造作製に際して、電子ビームリソグラフィー等の高度な微細加工技術を利用するため、これを使用した光源は非常に高価なものとなる。更に、高温耐熱部材であるW基体上に微細構造を作り込んでも1000程度の加熱温度で微細構造部分が溶融並びに破壊してしまうと言う問題も存在する。

40

## 【0011】

本発明の目的は、電力を可視光に変換する効率が高いフィラメントを備えた白熱電球を提供することにある。

## 【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、本発明により提供される白熱電球は、透光性気密容器と、当該透光性気密容器内に配置されたフィラメントと、フィラメントに電流を供給するためのリード線とを有する。フィラメントは、金属材料により構成された基体と、基体を被覆する白色散乱体層とを有する。白色散乱体層は、白色散乱体粒子から構成されている。白色散乱体層には、可視光領域の光を吸収し可視光領域の放射率を増大させ、赤外光領域の放射率を抑制する可視光吸収材が添加されている。

50

**【発明の効果】****【0013】**

本発明によれば、赤外波長領域の反射率が高く、可視光波長領域の反射率が低いフィラメントにより、赤外光放射を抑制し、可視光放射を高めることができるために、可視光光束効率の高い白熱電球が得られる。

**【図面の簡単な説明】****【0014】**

【図1】従来のタンクスチーンフィラメントの放射エネルギーの波長依存性を示すグラフ。

【図2】本実施形態の白色散乱体（ルテチア）の粒子形状を示す走査型電子顕微鏡写真。

【図3】フィラメント基体（タンクスチーン）の反射率と放射率の波長依存特性を示すグラフ。

10

【図4】不純物ドープや金属粒子添加をしていない白色散乱体層で基体（タンクスチーン）を被覆したフィラメントの反射率と放射率の波長依存特性を示すグラフ。

【図5】本発明の不純物ドープ白色散乱体層で基体（タンクスチーン）を被覆したフィラメントの反射率と放射率の波長依存特性を示すグラフ。

【図6】白色散乱体に、ダンギリングボンドならびに表面結晶欠陥回復処理を施す前後の赤外反射スペクトルを示すグラフ。

【図7】OH基ならびに表面結晶欠陥の除去処理を施した、不純物ドープ白色散乱体層で基体（タンクスチーン）を被覆したフィラメントの反射率と放射率の波長依存特性を示すグラフ。

20

【図8】本実施形態の白熱電球の断面図。

**【発明を実施するための形態】****【0015】**

本発明は、透光性気密容器と、透光性気密容器内に配置されたフィラメントと、フィラメントに電流を供給するためのリード線とを有する白熱電球に関する発明である。フィラメントは、金属材料により構成された基体と、基体を被覆する白色散乱体層とを有し、白色散乱体層には、可視光領域の光を吸収する可視光吸収材が添加されている。これにより、フィラメントの反射率を赤外光領域を含め広い波長範囲で高め、かつ、可視光領域の反射率を低下させることができるために、電流供給等によりフィラメントを加熱することによって、後述する原理により高効率に可視光を発することができる。

30

**【0016】**

別の表現で説明するならば、フィラメントは、金属材料により構成された基体と、基体を被覆し、基体よりも赤外光の反射率が高い光反射層とを有し、光反射層は、光散乱体の可視光領域の反射率を低下させる反射率低下材を含有する。光反射層は、反射率低下材として可視光領域の光を吸収する可視光吸収材が添加された白色散乱体で形成することができる。

**【0017】**

フィラメントの基体は、高い融点を有する金属、例えば、HfC（融点4160K）、TaC（融点4150K）、ZrC（融点3810K）、C（融点3800K）、W（融点3680K）、Re（融点3453K）、Os（融点3327K）、Ta（融点3269K）、Mo（融点2890K）、Nb（融点2741K）、Ir（融点2683K）、Ru（融点2583K）、Rh（融点2239K）、V（融点2160K）、Cr（融点2130K）、およびZr（融点2125K）、のうちのいずれかを含有する材料によって形成する。

40

**【0018】**

白色散乱体としては、例えば、イットリア（Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、ハフニア（HfO<sub>2</sub>）、ルテチア（Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、トリア（ThO<sub>2</sub>）、マグネシア（MgO）、ジルコニア（ZrO<sub>2</sub>）、イッテルビア（Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、ストロンチア（SrO）、酸化カルシウム（CaO）、酸化ベリリウム（BeO）、酸化ホルミウム（Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、窒化ジルコニア（ZrN）、窒化チタン（TiN）、および、窒化ホウ素（BN）、のうちのいずれかを含有す

50

るものを用いる。これらの白色散乱体は、赤外から可視領域にわたって吸収がほとんどなく非常に高い反射特性を示すからである。また、数多くある白色散乱体の中で上記白色散乱体は、フィラメントが効率よく発光する2300K以上の温度領域であっても、真空中下において耐熱性を有し、かつ高い反射特性を維持するからである。白色散乱体の粒子は、粒径が50nm以上50μm以下であることが望ましい。粒子の形状は、光散乱効率の点から充填率が大きく取れる形状が望ましい。基体への被覆手法を考慮すると、対称性の良い球形粒子であることが望ましい。白色散乱体は、表面のダングリングボンドの除去処理および表面の結晶欠陥回復処理のうちの少なくとも一方が施されているとさらに好ましい。

## 【0019】

10

可視光吸収材としては、例えば、白色散乱体にドープされた不純物元素を用いることができる。不純物元素の一例としては、Ce、Eu、Mn、Ti、Sn、Tb、Au、Ag、Cu、Al、Ni、W、Pb、As、Tm、Ho、Er、Dy、Pr等を用いることができる。白色散乱体への不純物元素のドープ濃度は、例えば、0.0001%~10%に設定する。ドープ方法としては、白色散乱体とこれらの不純物元素を混合して固相反応(焼成)を用いてドープする手法、または、白色散乱体酸化物並びに不純物と共に濃硝酸に溶解させてから、しゅう酸塩で共沈させ、これを焼成させる手法、を用いることができる。

## 【0020】

20

可視光吸収材としては、金属粒子を用いることも可能である。金属粒子は、一例としては、W、Ta、Mo、Au、Ag、Cu、Al、Ti、Ni、Co、Cr、Si、V、Mn、Fe、Nb、Ru、Pt、Pd、Hf、Y、Zr、Re、Os、Ir等の粒子を用いることができる。この場合、金属粒子の粒径は、2nm以上5μm以下であることが好ましい。白色散乱体への金属粒子の添加濃度は、例えば、0.0001%~10%に設定する。添加方法としては、白色散乱体とこれらの不純物元素を混合して共蒸着し、その後、焼成して白色散乱体中に金属微粒子の結晶を成長させる方法、または、白色散乱体に上記金属イオンを、イオン注入装置を利用して打ち込み、その後、焼成して白色散乱体中に金属微粒子の結晶を成長させる方法、を用いる。白色散乱体中に添加された金属粒子は、教会のステンドグラスのように、金属の種類並びに粒径に応じて可視光領域の吸収波長並びに吸収量を制御出来るため、種々の吸収帯を形成することが可能となる。例えば、Auの微粒子の粒径を2nmから5nmに変化させることによって、ステンドグラスの色をピンクから深緑に変化させることが可能となるが、これは、物理的には、金属微粒子表面で起くる光の局在共鳴吸収効果による透過光変化(補色)に起因する。即ち、粒子サイズが小さい場合は短波長の光を吸収し、粒子サイズが大きくなるにつれて長波長の光を吸収する。白色散乱体に金属微粒子添加した吸収も本原理に基づく。

## 【0021】

30

また、フィラメントの基体は、表面が鏡面に研磨加工されていることが好ましい。例えば、波長4000nm以上の赤外光の反射率が90%以上であることが好ましい。より短波長の赤外光、例えば波長1000nm以上における赤外光の反射率が90%以上であると、更なる光束効率の向上を期待することが出来るため好ましい。基体の表面粗さは、中心線平均粗さRaが1μm以下、最大高さRmaxが10μm以下、および、十点平均粗さRzが10μm以下、のうちの少なくとも1つを満たすことが好ましい。

## 【0022】

40

本発明の光源用フィラメントは、フィラメントが、電流供給等により加熱されることによって高効率に可視光を発する。その原理を、黒体放射におけるキルヒホッフの法則に基づいて、以下説明する。

## 【0023】

自然対流熱伝達の無い条件下(例えば真空中)における材料(ここではフィラメント)の入力エネルギーに対するエネルギー損失は平衡状態では以下の式(1)で与えられる。

## 【0024】

50

(数1)

$$P(\text{total}) = P(\text{conduction}) + P(\text{radiation}) \quad \dots \quad (1)$$

【0025】

ここで、 $P(\text{total})$ は、全入力エネルギー、 $P(\text{conduction})$ は、フィラメントに電流を供給するリード線を経て損失されるエネルギー、 $P(\text{radiation})$ は、フィラメントが、加熱された温度で外部空間に光を放射して損失するエネルギーである。フィラメントは、その温度が 2300 K 以上になると、リード線を経て損失されるエネルギーはわずか 5 % 程度になり、残りの 95 % 以上のエネルギーは、光放射によって外部にエネルギーが損失されるため、入力電力の殆ど全てのエネルギーを光に変えることができる。しかしながら、従来の一般的なフィラメントから放射される放射光の内、可視光成分の割合は、図 1 に示したようにわずか 10 % 程度で、大部分が赤外放射光成分であるため、そのままでは効率の良い可視光源とはならない。 10

【0026】

上記式(1)における $P(\text{radiation})$ の項は一般的に、下記式(2)で記述することができる。

【数2】

$$P(\text{Radiation}) = \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \frac{\alpha \lambda^{-5}}{\exp(\beta/\lambda T) - 1} d\lambda \quad \dots \quad (2)$$

と記述することが出来る。式(2)において ( ) は、各波長における放射率、  
 $\varepsilon(\lambda)$  は、プランクの放射則を示す。 20  
 $\varepsilon = 3.747 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-4} / \text{m}^2$ 、  
 $\alpha = 1.4387 \times 10^{-4} \mu\text{m K}$ 、である。また、 ( ) は、キルヒホッフの法則によって反射率  $R(\lambda)$  と式(3)の関係にある。

【0027】

(数3)

$$R(\lambda) = 1 - \varepsilon(\lambda) \quad \dots \quad (3)$$

【0028】

式(2)と式(3)を関連付けて議論すると、仮に反射率が全ての波長に亘って 1 である材料は、式(3)より  $R(\lambda) = 0$  となり、ひいては、式(2)における積分値が 0 となるため放射による損失が起らなくなる。この物理的意味は、 $P(\text{total}) = P(\text{conduction})$  となるため、少量の入力エネルギーでも光放射による損失が無く、フィラメントが非常に高い温度まで達することを意味している。すなわち、本加熱物体を外から見たら、放射がないため、高温か低温か全くわからず、触ってみてはじめてわかる状態である。 30

【0029】

この原理によれば、赤外光領域から可視光領域にわたって広範囲の波長で吸収がなく、反射率が非常に高い特性（すなわち、赤外光領域から可視光領域にわたって放射率が非常に低い特性）を示す白色散乱体層でフィラメント基体を被覆することにより、フィラメントを加熱しても、赤外光領域から可視光領域での放射を抑制できる。しかしながら、本白色散乱体のままでは、可視光領域での放射も抑制されるため、可視光光束効率の良いフィラメントとはならない。そこで、赤外光領域の放射を抑制したまま可視光領域の放射効率を向上させ、可視光光束効率の良いフィラメントとするために、可視光領域の反射率を低減（放射率を増大）させる工夫を凝らす（式(3)参照）。本発明では、可視光領域の反射率を低減するために、白色散乱体に、蛍光体技術等で利用されている不純物を添加する、または、金属微粒子を添加するという手法を用いる。これにより、白色散乱体に可視光領域に吸収帯域を生じさせ、可視光光束効率の高いフィラメントを実現できる。 40

【0030】

フィラメントの基体を、不純物を添加した白色散乱体層で被覆する方法としては、以下のような方法を用いることができる。

【0031】

まず、白色散乱体粒子（例えば、ルテチア（Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>））を用意する。ここでは、図 50

2に走査型電子顕微鏡写真を示したように粒径50nm～50μmの球状のルテチア(  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  )粒子を一例として用意する。この白色散乱体に、固相反応方法により濃度1%でCeをドープする。さらに、白色散乱体に、バインダーとしてニトロセルロースを混合し、水とポリビニールアルコールの混合溶液に分散してスラリー状にする。別途用意しておいた、所望の形状(例えば線材)のフィラメント基体(例えばW(タンゲステン))の周囲に、上記スラリー状の白色散乱体を塗布した後、所定の温度、例えば、400以上で、酸化雰囲気中で焼成する。これにより、バインダーが焼失し、不純物がドープされた白色散乱体層によりフィラメントを被覆することができる。この他に、白色散乱体粒子を加速衝突させ、その衝撃により瞬時に焼結被覆をおこなうことが可能な衝撃焼結被覆法によっても、不純物がドープされた白色散乱体層によりフィラメントを被覆することができる。10

#### 【0032】

図3に、機械的研磨により表面粗さが、中心線平均粗さRaが1μm以下、最大高さR<sub>max</sub>が10μm以下、および、十点平均粗さR<sub>z</sub>が10μm以下、のうちの少なくとも1つを満たすように鏡面研磨されたWフィラメント(2mmの線材)の反射率、並びに、このフィラメントが2500Kに加熱された際に示す放射効率の波長依存特性をシミュレーションおよび実験により求めた結果を示す。このWフィラメントの可視光光束効率は、16.9 1m/Wである。

#### 【0033】

図4に、図3の鏡面研磨Wフィラメント(基体)上に、不純物ドープや金属粒子添加をしていない白色散乱体(  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  )層で被覆したフィラメントの反射率および放射率(2500K)の波長依存特性をシミュレーションおよび実験により求めた結果を示す。図4のように、このフィラメントは、白色散乱体層の作用により、紫外光領域、可視光領域および赤外光領域において、反射率が連続してほぼ1と非常に高く、放射率はほぼ0である。このため図4のフィラメントの可視光光束効率は、3.1 1m/Wと、低い数値になっている。なお、図4において、紫外光領域並びに7μm以上の波長における赤外部の低反射率部分は、各々、  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  白色体の伝導帯エネルギー吸収(紫外部)、並びに  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  の光学フォノン吸収(赤外部: 1TOフォノン、1LOフォノン、2TOフォノン、2LOフォノン、等)によるものである。20

#### 【0034】

これに対し、図5には、図3の鏡面研磨Wフィラメント(基体)を、白色散乱体(  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  )にCe不純物を1%程度ドープした白色散乱体層、厚さ100μmで被覆した本発明のフィラメントの反射率および放射率(2500K)の波長依存特性を、シミュレーションおよび実験により求めた結果を示す。図5に示すように、Ce不純物をドープしたことにより、視感度曲線のピーク550nm付近を中心とする可視光領域で反射率がゼロに近くなる帯域が生じている。これにより、可視光領域で放射率が高まっている。また、可視光領域以外の紫外光領域および赤外光領域では、白色散乱体の作用により、反射率がほぼ1の非常に高い値を示している。これにより、赤外光領域の放射率を0.1以下に抑制できている。このように、可視光領域の反射率を低減した白色散乱体で被覆したことにより、本発明のフィラメントは、133.5 1m/Wという非常に高い可視光光束効率が得られる。この可視光拘束効率は、従来の白熱電球の約10倍の効率である。40

#### 【0035】

なお、白色散乱体は、表面に吸着しているOH基(水)、並びに表面の結晶欠陥(ダングリングボンド)が、図6に示すように赤外領域に大きな吸収を作り出し、反射率の低下、引いては可視光光束効率の低下を引き起こす。そのため、白色散乱体の表面から、OH基および結晶欠陥を除去する処理を施すことが望ましい。OH基および結晶欠陥を除去する処理方法としては、広く知られた公知の方法を用いることができる(参考文献として: M. Hudicky et al., Chemistry of Organic Fluorine Compounds, 2<sup>nd</sup> ed. Ellis Horwood Ltd. 1976)。具体的には、例えば、白色散乱体粒子を、NH<sub>4</sub>F(バッファードフロ酸)等により洗浄し、OH基のHをFに置換する方法を用いることができる50

る。その後、真空または酸化雰囲気中で 1000 以上 の高温で焼成すると、OH 基が除去されるとともに、結晶欠陥が回復する。これら一連の作業をおこなうことによって図 6 に示すように、徐々に反射率の向上を図ることが可能となる。なお、図 6 中の一点鎖線は、上記の作業を繰り返し行うことにより得られる白色散乱体粒子の赤外反射スペクトルを示すものである。

#### 【0036】

上記 OH 基および結晶欠陥を除去する処理を白色散乱体に施すことにより、処理を施していない図 5 に示したフィラメントでは 99 % の赤外光領域の反射率を 99.9 % に高めることができる。処理を施した白色散乱体を用い、他の条件は図 5 のフィラメントと同様にして形成したフィラメントの反射率と、放射率の波長依存特性を図 7 に示す。図 7 のフィラメントの 2500 K での可視光光束効率を求める 168.7 1 m / W であり、図 5 のフィラメントの可視光光束効率 133.5 1 m / W から大きく引き上げ可能であることがわかる。

10

#### 【0037】

また、不純物ドープまたは金属粒子を添加した白色散乱体層の厚さは、下記の点を考慮して最適化することが望ましい。すなわち、白色散乱体層で被覆することにより、その厚さに応じてフィラメントの表面積 S は、基体の表面積よりも増加する。赤外光領域の放射率  $\sigma$  と表面積 S の積が、損失エネルギー（赤外光領域におけるエネルギー漏れ）となる。白色散乱体層の赤外光領域の放射率は、0 に近いが、完全には 0 ではないため、白色散乱体層の厚さ L が大きいほど厚さの効果によって放射率を小さくできるが、その分、表面積 S が大きくなるというトレードオフの関係にある。したがって、放射率  $\sigma$  と表面積 S の積（= 損失エネルギー）が、最も小さくなる厚さ、即ち、所望の反射率に到達するために必要な最も薄い厚さに白色散乱体層を設計することが望ましい。

20

#### 【0038】

粒子径並びに白色散乱体厚みを、光散乱理論：光拡散方程式を用い最適化する。

#### 【数 4】

$$D \nabla^2 n(r, t) - \frac{1}{\tau_a} n(r, t) = \frac{\partial n(r, t)}{\partial t} \quad \dots \quad (4)$$

$$D = \frac{\ell^* c}{3} \quad \dots \quad (5)$$

30

#### 【0039】

上式 (4)、(5)において  $n(r, t)$  は白色散乱体内での任意の時間における光強度、D は拡散係数、 $\tau_a$  は試料内の吸収による減衰時間、 $\ell^*$  は平均自由行程、c は光速度、である。上式 (4)、(5) を解くことによって吸収が無い場合 ( $\tau_a$  が無限大の時間) の光透過率 T(L) は以下のように簡単に記述できる。

#### (数 6)

$$T(L) = (I^* / L) \quad \dots \quad (6)$$

#### 【0040】

ここで、L は白色散乱体の厚さとなる。吸収が存在しない場合、 $T(L) + R(L) = 1$  となるので、反射率 R を 99.9 % 程度にしたい場合には、透過率 T を 0.1 % 程度にする必要がある。ところで散乱断面積の計算より、 $\ell^*$  の平均自由行程と白色散乱体の粒子半径は、粒子半径が 50 nm から 1 μm の範囲においては略同程度と見積もられるので、上記範囲における最小の半径  $R = 50 \text{ nm}$  を選択することによって  $\ell^*$  の平均自由行程が最小のものを選択でき、50 nm となる。透過率 T が 0.1 % なので、結局、白色散乱体の厚さは上式 (6) より  $L = 50 \mu\text{m}$  以上と求めることが出来る。ここで、粒子半径が 50 nm から 1 μm の範囲では、白色散乱体の粒子径が小さいものを選択する方が本理論計算では有利となるが、実際には、白色散乱体の表面に吸着している OH 基 (水)、並びに表面の結晶欠陥 (ダンギングボンド) の除去が、粒子径が小さいもの程困難となるため、反射率が高く、純度が良く、かつ粒子径の小さな白色散乱体を得るためにには、多数回の洗浄・焼成・欠陥

40

50

回復作業が必要となる。

【0041】

ここで白色散乱体をフィラメントに被覆する際の注意点を述べる。ある程度の厚みの白色散乱体をフィラメントに被覆するので、フィラメント全体の表面積が増え、白色散乱体放射率抑制効果は、その表面積増大分だけ低減する。例えば、0.1のフィラメントでは、 $L = 50 \mu m$ の白色散乱体を被覆することによって、0.2のフィラメントとなるので、その表面積は4倍となり、表面積を考慮した実効的反射率効果は $R = 99.6\%$ 、また放射率は $= 1 - R = 0.4\%$ となる。

【0042】

上記フィラメントを用いた白熱電球の一例について説明する。

10

【0043】

図8に、上記実施形態のフィラメントを用いた白熱電球の切り欠き断面図を示す。白熱電球1は、透光性気密容器2と、透光性気密容器2の内部に配置されたフィラメント3と、フィラメント3の両端に電気的に接続されると共にフィラメント3を支持する一対のリード線4、5とを備えて構成される。透光性気密容器2は、例えばガラスバルブにより構成される。透光性気密容器2の内部は、 $10^{-1} \sim 10^{-6} Pa$ の高真空状態となっている。なお、透光性気密容器2の内部に $10^5 \sim 10^6 Pa$ の $O_2$ 、 $H_2$ 、ハロゲンガス、不活性ガス、並びにこれらの混合ガスを導入することによって、従来のハロゲンランプと同様に、フィラメント上に成膜された可視光反射率低下膜の昇華並びに劣化を抑制し、寿命の延伸効果を期待することが可能となる。

20

【0044】

透光性気密容器2の封止部には、口金9が接合されている。口金9は、側面電極6と、中心電極7と、側面電極6と中心電極7とを絶縁する絶縁部8とを備える。リード線4の端部は、側面電極6に電気的に接続され、リード線5の端部は、中心電極7に電気的に接続されている。

【0045】

フィラメント3は、実施形態1～7のいずれかのフィラメントであり、ここでは、線材形状の基材をらせん状に巻き回し、不純物ドープまたは金属粒子が添加された白色散乱体層で被覆した構造である。

【0046】

30

フィラメント3は、実施形態で述べたように、紫外光領域から赤外波長領域の反射率が非常に高く、可視光領域の反射率が低い。この構成により、高い可視光光束効率（光束効率）を実現できる。よって、本発明では、赤外域の放射を抑制することができ、結果的に入力電力に対する可視光の可視光変換効率を高めることができる。これにより、効率のよい省エネ型照明用電球を提供することができる。

【0047】

なお、上述の実施形態では、フィラメントの基体の表面を機械研磨加工により鏡面加工したもの用いる例について説明したが、鏡面研磨されていない基体を用いることも可能である。また、機械研磨加工に限らず、他の方法を用いて鏡面研磨することも可能である。例えば、湿式や乾式のエッティングや、線引き時や鍛造や圧延時に滑らかな型に接触させる方法等を採用できる。

40

【0048】

上述の実施形態では、本発明のフィラメントを白熱電球のフィラメントとして用いることを説明したが、白熱電球以外に用いることも可能である。例えば、ヒーター用電線、溶接加工用電線、熱電子放出電子源（X線管や電子顕微鏡等）等として採用することができる。この場合も、赤外光放射の抑制作用により、少量の入力電力で、効率よく高温にフィラメントを加熱することができるため、エネルギー効率を向上させることができる。

【符号の説明】

【0049】

1…白熱電球、2…透光性気密容器、3…フィラメント、4…リード線、5…リード線、

50

6 … 側面電極、 7 … 中心電極、 8 … 絶縁部、 9 … 口金

【図 1】

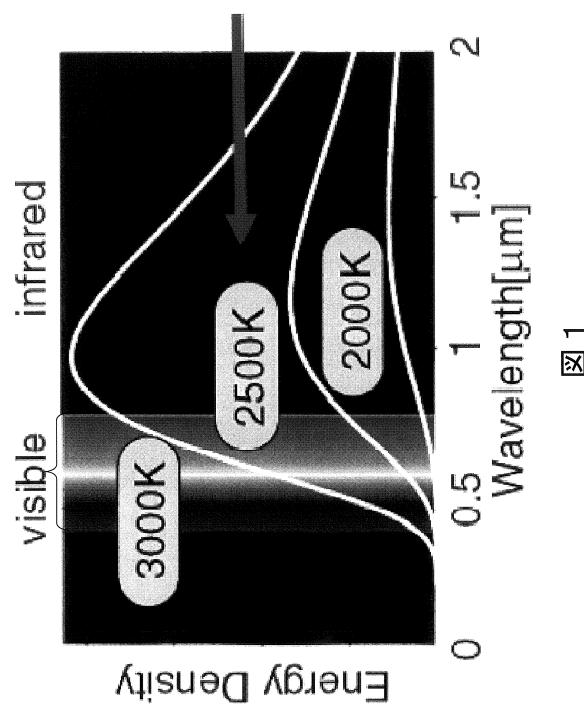


図 1

【図 8】

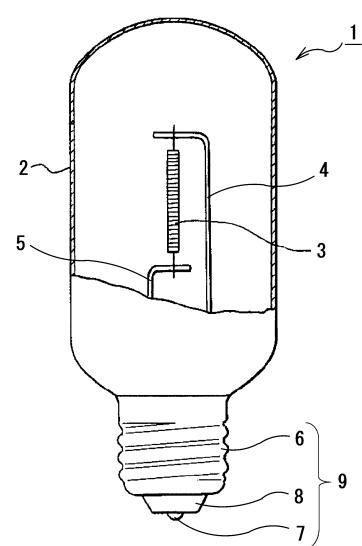


図 8

【図2】

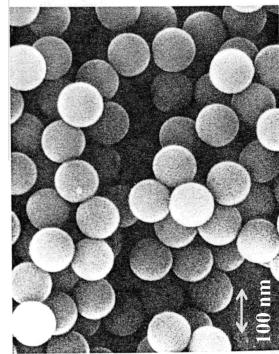
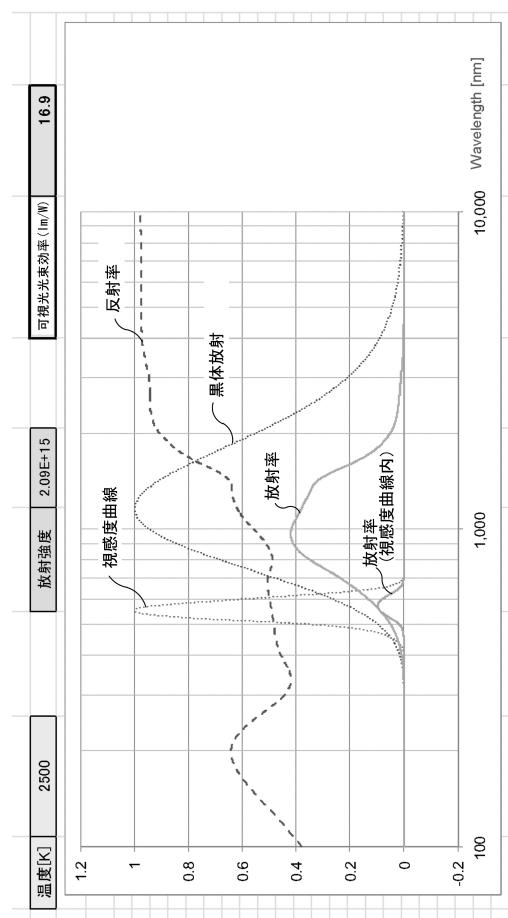
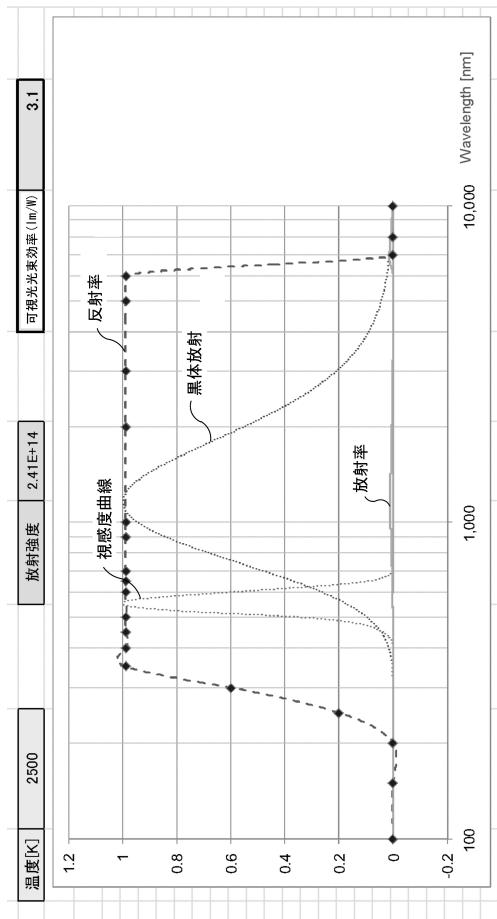


図2

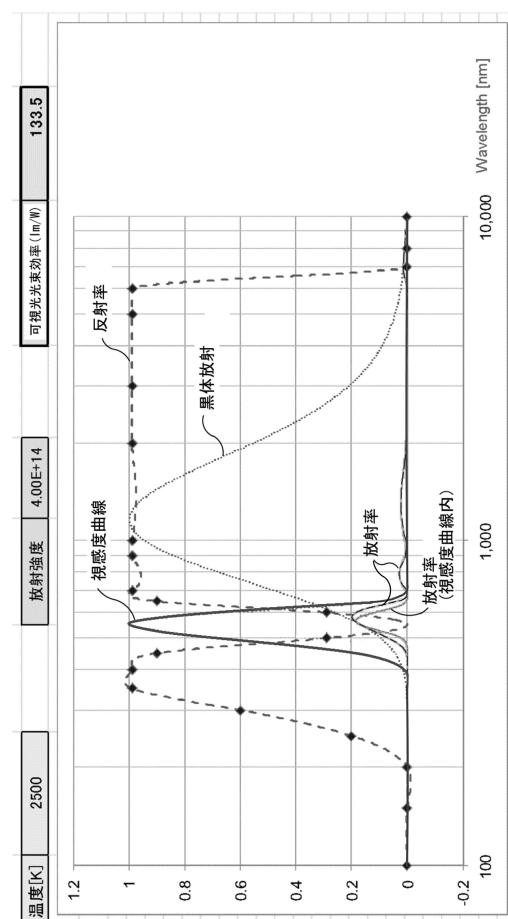
【図3】



【図4】

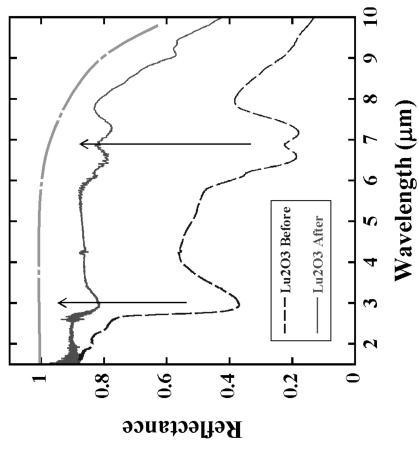


【図5】



【図6】

## Lu2O3白色体反射スペクトル



Powder中の不純物(OH基等)並びに表面欠陥の除去

図6

【図7】

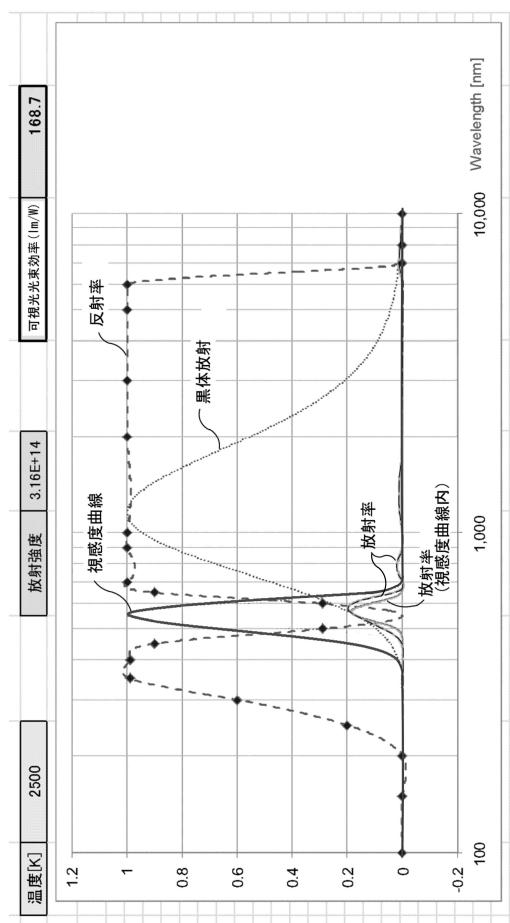


図7

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-222638(JP,A)  
特開2011-222211(JP,A)  
特開2011-124206(JP,A)  
特開昭56-145652(JP,A)  
特開昭57-174853(JP,A)  
特開平10-289689(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01K 1/04  
H01K 1/08