

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 9 月 22 日 (22.09.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/193399 A1

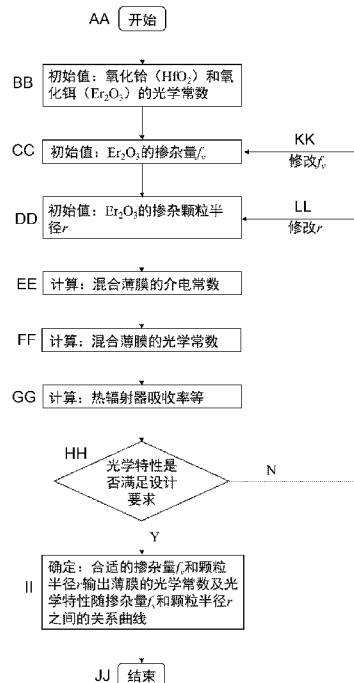
- (51) 国际专利分类号:
H01L 35/22 (2006.01) **G06F 30/20** (2020.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2021/088345
- (22) 国际申请日: 2021 年 4 月 20 日 (20.04.2021)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202110296109.4 2021年3月19日 (19.03.2021) CN
- (71) 申请人: 苏州大学(SOOCHOW UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。
- (72) 发明人: 蔡琦琳(CAI, Qilin); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 吴

玺(WU, Xi); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 张荃石(ZHANG, Yingshi); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 叶庆(YE, Qing); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 范学良(FAN, Xueliang); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 邓业林(DENG, Yelin); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。 赵威风(ZHAO, Weifeng); 中国江苏省苏州市工业园区仁爱路 199 号, Jiangsu 215000 (CN)。

- (74) 代理人: 苏州市中南伟业知识产权代理事务所(普通合伙)(CENTRAL SOUTH WELL INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国江苏省苏州市吴中区石湖西路 188 号吴

(54) Title: SPECTRALLY SELECTIVE THERMAL RADIATOR AND DESIGN METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 光谱选择性热辐射器及其设计方法



AA Start
BB Initial values: optical constants of hafnium oxide (HfO₂) and erbium oxide (Er₂O₃)
CC Initial value: Er₂O₃ doping amount, f_v
DD Initial value: Er₂O₃ doping particle radius, r
EE Calculate a dielectric constant of a hybrid thin film
FF Calculate an optical constant of the hybrid thin film
GG Calculate the absorptivity, etc. of a thermal radiator
HH Do optical features satisfy design requirements
II Determine appropriate doping amount, f_v , and particle radius, r , and output the optical constant of the thin film and a relationship curve of the optical features with the doping amount, f_v , and the particle radius, r
JJ End
KK Modify f_v
LL Modify r

图 2

(57) Abstract: The present invention relates to a spectrally selective thermal radiator and a design method therefor. The spectrally selective thermal radiator of the present invention is a one-dimensional layered structure, and comprises a first layer, a second layer, and a third layer that are arranged in sequence; the first layer and the third layer are both hafnium oxide layers; the second layer is a hafnium oxide layer on which a plurality of erbium oxide nanoparticles are distributed. The thermal radiator designed in the present invention is a material-type spectrally selective thermal radiator and has selective emissivity. Compared with a conventional structural

中万达广场A座苏州大学国家科技园
2303, Jiangsu 215000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

thermal radiator, the material-type thermal radiator has high thermal stability and no oxidation, and can fundamentally eliminate the high temperature regression problem of the structural thermal radiator. The present invention has the characteristics of accuracy and high efficiency, and can comprehensively reveal the law of the spectral emission characteristics of the material-type selective thermal radiator having hafnium oxide doped with erbium oxide particles changing with an erbium oxide doping amount and an erbium oxide doped particle size, and lay the foundation for the practical application of a high temperature selective radiator.

(57) 摘要: 本发明涉及一种光谱选择性热辐射器及其设计方法, 本发明的光谱选择性热辐射器为一维层状结构, 其包括依次设置的第一层、第二层和第三层, 第一层和第三层均为氧化钪层, 第二层为分布有多个氧化钪纳米颗粒的氧化钪层。本发明所设计的热辐射器为材料型光谱选择性热辐射器具有选择性发射率。相较于传统的结构型热辐射器, 材料型热辐射器有着非常高的热稳定性, 无氧化作用, 可从根本上杜绝结构型热辐射器存在的高温衰退问题。本发明具有准确、效率高的特点, 能够全面地揭示材料型氧化钪掺杂氧化钪颗粒选择性热辐射器的光谱发射特性随氧化钪掺杂量和氧化钪掺杂颗粒大小的变化规律, 并为高温选择性辐射器走上实际应用奠定基础。

光谱选择性热辐射器及其设计方法

技术领域

本发明涉及热辐射技术领域，尤其涉及一种光谱选择性热辐射器及其设计方法。

背景技术

太阳能热光伏（简称 STPV）系统是一种高效的热电转换技术，可以直接将由太阳光所产生的高温热辐射转化为电能。STPV 系统通常由聚光器、吸收器、辐射器和热光伏电池四大部分组成，其基本原理为：太阳光打到聚光器上后被聚光器聚集并发射至吸收器，吸收器吸收所聚集的太阳光温度升高加热辐射器发出热辐射能，落在热光伏电池禁带宽度下的热辐射能被热光伏电池转换为电能。STPV 系统理论转化效率高，可高效利用太阳能，在商业、民用和军事领域具有很大的应用前景。

热辐射器对于提升 STPV 系统的效率有着至关重要的作用，光谱选择性热辐射器可以极大地提高 STPV 系统的整体效率。STPV 系统的工作温度很高（1000K 以上），因此对热辐射器的高温稳定性有着很高的要求。现有的光谱选择性热辐射器多为结构型光谱选择性热辐射器，该类型的热辐射器在高温状态下往往会发生如结构崩塌、材料发生相变等多种因素的高温衰退现象。

因此，开发新型的材料型光谱选择性热辐射器及其设计方法十分必要。

发明内容

为解决上述技术问题，本发明的目的是提供一种光谱选择性热辐射器及其设计方法，本发明的光谱选择性热辐射器包括氧化铪和氧化钪，抗高温氧化，且具有选择性发射率，其设计方法准确、高效，能够根据氧化钪纳米颗粒的掺杂量和粒径计算出光谱选择性热辐射器的光学性能。

为达到上述目的，本发明采用的技术方案如下：

本发明的第一个目的是公开一种光谱选择性热辐射器为一维层状结构，其包括依次设置的第一层、第二层和第三层，所述第一层和第三层均为氧化铪（ HfO_2 ）层，所述第二层为分布有多个氧化钪（ Er_2O_3 ）纳米颗粒的氧化铪层。

相较于传统的结构型热辐射器，本发明的光谱选择性热辐射器为材料型热辐射器，其具有非常高的热稳定性，抗高温（1000-2500℃）氧化，可从根本上杜绝结构型热辐射器存在的

高温衰退问题。

由于本发明的光谱选择性热辐射器的材质包括两种氧化物，不会发生高温氧化等衰退现象，可以在保持光谱选择性发射的同时又具有极高的热稳定性。

进一步地，氧化铟纳米颗粒的粒径为 5-30nm。

进一步地，光谱选择性热辐射器还包括基层层，所述基层层的材质为钼、钨、钽或硅。基层层设于第一层或第三层的一侧表面。

进一步地，第一层和第三层的厚度为 50-200nm，所述第二层的厚度为 300-500nm。第一层和第三层主要用于隔断基底和环境对第二层的影响，即厚度不宜过大，能起到保护作用即可；第二层为掺杂层，需要一定厚度保证掺杂量，出于成本和光学性能考虑厚度不宜超过 500nm。

进一步地，光谱选择性热辐射器的吸收波长和/或反射波长的范围为 400nm-5000nm。

本发明的光谱选择性热辐射器在相应波长范围内具有选择性发射率，即在指定波段内具有很高的发射率，而在无用的波段的发射率则受到抑制。本发明的光谱选择性热辐射器具有上述性能的原因在于：

(1) Er_2O_3 纳米颗粒在短波范围内具有高发射性，通过调节其用量，可调节光谱选择性热辐射器的反射性；

(2) 本发明的光谱选择性热辐射器具有多层结构，这种复合的层结构具有光干涉效应；

(3) Er_2O_3 纳米颗粒的粒径在合适范围内可以改变薄膜的光学特性，并产生期望的发射光谱。

本发明的第二个目的是公开一种上述光谱选择性热辐射器的设计方法，该设计方法用于设计第二层中氧化铟纳米颗粒的掺杂量及其粒径，具体包括以下步骤：

1) 分别获取氧化铟和氧化铟纳米颗粒的介电常数 ϵ_1 和 ϵ_2 ；并确定第二层中氧化铟纳米颗粒的掺杂量 f_v 及氧化铟纳米颗粒的半径 r ；

2) 根据公式
$$\epsilon_e = \epsilon_1 \left(\frac{r^3 + 2\alpha_r f_v}{r^3 - \alpha_r f_v} \right)$$
 获取第二层的介电常数 ϵ_e ；

3) 根据公式
$$n_e = \left(\sqrt{\epsilon_{e1}^2 + \epsilon_{e2}^2} + \epsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$$
 和
$$k_e = \left(\sqrt{\epsilon_{e1}^2 + \epsilon_{e2}^2} - \epsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$$
 分别获取第二层的折射率 n_e 和消光系数 k_e ，其中， ϵ_{e1} 是介电常数 ϵ_e 的实部， ϵ_{e2} 是介电常数 ϵ_e 的虚部；

4) 计算所述光谱选择性热辐射器的吸收率和/或反射率等光学特性，得到计算值；

5) 将所计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率进行比较，如果计算出

的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率相同,则直接进行步骤6);如果计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率不同,则修改步骤1)中的氧化钬纳米颗粒的掺杂量 f_v 及氧化钬纳米颗粒的半径 r ,然后重复执行步骤2)-4),直至计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率相同;

6)输出光谱选择性热辐射器的光学特性曲线与第二层中氧化钬纳米颗粒的掺杂量 f_v 之间的关系曲线。

进一步地,在步骤1)中,利用氧化铪和氧化钬纳米颗粒的折射率 n_1 和 n_2 ,分别计算出两种材料的介电常数 ε_1 和 ε_2 。

进一步地,在步骤1)中, $0 < f_v < 1$ 。

本发明中,掺杂量 $f_v = V_2 / (V_1 + V_2)$,其中 V_1 为氧化钬颗粒占掺杂层的体积, V_2 为氧化铪颗粒占掺杂层的体积。

进一步地,在步骤2)中,

$$\alpha_r = \frac{3ic^3 x_r}{2\omega^3 \varepsilon_1^{\frac{3}{2}}}, \quad \text{其中},$$

$$x_r = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} \varphi(x_2) \varphi'(x_1) - \sqrt{\varepsilon_1} \varphi(x_1) \varphi'(x_2)}{\sqrt{\varepsilon_2} \varphi(x_2) \xi'(x_1) - \sqrt{\varepsilon_1} \xi(x_1) \varphi'(x_2)}, \quad x_1 = \omega r \sqrt{\varepsilon_1} / c, \quad x_2 = \omega r \sqrt{\varepsilon_2} / c, \quad i \text{ 代表虚数, } \omega \text{ 代表角速度, } \varphi(x) \text{ 代表 } x j_1(x), \xi(x) \text{ 代表 } x h_1^{(1)}(x), j_1(x) \text{ 代表一阶球面贝塞尔函数, } h_1^{(1)}(x) \text{ 代表第一类汉克尔函数, } \varphi'(x) \text{ 代表 } \varphi(x) \text{ 的一阶导数, } \xi'(x) \text{ 代表 } \xi(x) \text{ 的一阶导数, } x = x_1 \text{ 或 } x_2。$$

进一步地,在步骤4)中,通过传输矩阵法计算所述光谱选择性热辐射器的吸收率和/或反射率。采用传输矩阵法计算掺杂颗粒后热辐射器的光谱特性,该方法简单易懂、适用范围广,能够提高热辐射器的光谱特性设计的准确性和效率,可进一步降低光谱选择性热辐射器的研发成本,为新型热辐射器材料的设计研发提供基础。

通过上述设计方法,可设计光谱选择性热辐射器的光学性能,使得最终设计的光谱选择性热辐射器在相应波长范围内具有选择性发射率。能够揭示选择性热辐射器的光谱发射特性随氧化钬纳米颗粒掺杂量和氧化钬纳米颗粒大小的变化规律,为材料型光谱选择性热辐射器的制备提供重要依据。

借由上述方案,本发明至少具有以下优点:

1.本发明所设计的材料型光谱选择性热辐射器所采用的材料均为氧化物材料,氧化物材料具有极高的热稳定性,在高温下不易发生化学反应变化。

2.本发明采用计算机辅助计算技术,可以有效克服设计制造繁琐的问题,用计算机仿真

模拟计算掺杂量和掺杂颗粒半径大小的最佳配比，大幅提高热辐射器的设计效率，降低制备成本。

3.采用有效介质理论计算氧化钪掺杂氧化铈颗粒后的光学常数，该计算方法在掺杂颗粒后的光电特性计算中具有计算准确、科学、效率高的特点，能够全面地计算出材料的光电常数随氧化铈掺杂量和掺杂颗粒大小的变化规律。

上述说明仅是本发明技术方案的概述，为了能够更清楚了解本发明的技术手段，并可依照说明书的内容予以实施，以下以本发明的较佳实施例并配合详细附图说明如后。

附图说明

图 1 是本发明中光谱选择性热辐射器的剖面结构示意图；

图 2 是本发明中光谱选择性热辐射器的设计流程图；

图 3 是本发明中氧化铈纳米颗粒的掺杂量与折射率关系图；

图 4 是本发明中氧化铈纳米颗粒的掺杂量与消光系数关系图；

图 5 是本发明中氧化铈纳米颗粒的掺杂量与光谱性能关系图；

附图标记说明：

1-第一层；2-第二层；3-第三层；4-基底；5-氧化铈纳米颗粒。

具体实施方式

在本发明的描述中，需要说明的是，术语“上”、“下”、“水平”、“左”、“右”、“前”、“后”等指示的方位或位置关系均为基于附图所示的方位或位置关系，仅仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“连接”、“安装”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

下面结合实施例，对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明，但不用来限制本发明的范围。

实施例 1

如图 1 所示, 一种材料型光谱选择性热辐射器, 其为一维层状结构, 其由自上而下依次设置的第一层 1、第二层 2、第三层 3 和基底 4 组成, 其中, 第一层 1 和第三层 3 均为氧化铪层, 第二层 2 为分布有多个氧化铪纳米颗粒 5 的氧化铪层。第一层 1 和第三层 3 的厚度为 100nm, 第二层 2 的厚度为 400nm。基底 4 为钼基底, 其尺寸为 10mm×10mm×0.3mm。氧化铪纳米颗粒的粒径 $r=20\text{nm}$, 其在第二层中的掺杂量 $f_v=0.1$ 、0.3 或 0.5。

该材料型氧化铪掺杂氧化铪颗粒光谱选择性热辐射器的制备方法为射频磁控溅射, 使用纯度为 99.99% 的 HfO_2 和 Er_2O_3 靶材, 溅射室真空度为 $1 \times 10^{-7}\text{Torr}$, Ar 气流量为 4mTorr, 溅射功率为 150W。

实施例 2

由于材料型光谱选择性热辐射器中, 掺杂有纳米颗粒的功能层的光学常数通常很难确定, 不利于后续热辐射器整体光学特性的计算。因此, 采用有效介质理论和传输矩阵法计算掺杂有纳米颗粒的光谱选择性热辐射器的光学特性随功能层中纳米颗粒的掺杂量和颗粒大小的变化规律, 可以有效反映辐射器整体光学特性的变化, 并且预测热辐射器未来的使用性能。

基于此, 本发明公开了一种实施例 1 中的材料型光谱选择性热辐射器的设计方法, 如图 2 所示, 包括以下步骤:

1) 确定氧化铪 (HfO_2) 的折射率 n_l 和氧化铪 (Er_2O_3) 纳米颗粒的折射率 n_2 , 分别计算出 HfO_2 的介电常数 ε_l 和 Er_2O_3 纳米颗粒的介电常数 ε_2 。

2) 确定 Er_2O_3 纳米颗粒的掺杂量 f_v 。

3) 确定 Er_2O_3 纳米颗粒的半径 r 。

4) 根据公式 $\varepsilon_e = \varepsilon_l \left(\frac{r^3 + 2\alpha_r f_v}{r^3 - \alpha_r f_v} \right)$ 计算第二层的介电常数 ε_e 。其中, $\alpha_r = \frac{3ic^3 x_r}{2\omega^3 \varepsilon_l^2}$,

其中, $x_r = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} \varphi(x_2) \varphi'(x_1) - \sqrt{\varepsilon_1} \varphi(x_1) \varphi'(x_2)}{\sqrt{\varepsilon_2} \varphi(x_2) \xi'(x_1) - \sqrt{\varepsilon_1} \xi(x_1) \varphi'(x_2)}$, $x_1 = \omega r \sqrt{\varepsilon_1} / c$, $x_2 = \omega r \sqrt{\varepsilon_2} / c$,

$\varphi(x)$ 代表 $x j_1(x)$, $\xi(x)$ 代表 $x h_1^{(1)}(x)$, $j_1(x)$ 代表一阶球面贝塞尔函数, $h_1^{(1)}(x)$ 代表第一类汉克尔函数, $\varphi'(x)$ 代表 $\varphi(x)$ 的一阶导数, $\xi'(x)$ 代表 $\xi(x)$ 的一阶导数, $x=x_1$ 或 x_2 。

5) 根据公式 $n_e = \left(\sqrt{\varepsilon_{e1}^2 + \varepsilon_{e2}^2} + \varepsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$, $k_e = \left(\sqrt{\varepsilon_{e1}^2 + \varepsilon_{e2}^2} - \varepsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$ 计算出第

二层的折射率 n_e 和消光系数 k_e , 其中, ε_{e1} 是介电常数 ε_e 的实部, ε_{e2} 是介电常数 ε_e 的虚部。

6) 计算光谱选择性热辐射器的吸收率、反射率等光学特性。

7) 检测所计算出的光谱选择性热辐射器的吸收率、反射率等光学特性是否符合设计要求, 如果不符合设计要求, 则修改步骤 2) 和步骤 3) 中的掺杂量 f_v 和掺杂颗粒半径 r , 然后重复执行步骤 4) -6), 直至结果符合设计要求。

8) 输出光学特性曲线与掺杂量 f_v 之间的关系曲线。

作为一种具体实施例方式, 上述材料型光谱选择性热辐射器的设计方法如下:

1) 选择氧化铪 (HfO_2) 和氧化钪 (Er_2O_3) 的折射率 $n_1=1.8-2.2$ 、 $n_2=1.78-1.83$, 计算出两种材料的介电常数 $\varepsilon_1=3.24-4.84$ 、 $\varepsilon_2=3.17-3.35$ 。

2) 确定 Er_2O_3 的掺杂量 $f_v=0.1$ 、 0.3 或 0.5 。

3) 确定 Er_2O_3 的掺杂颗粒半径 $r=20\text{nm}$ 。

$$\varepsilon_e = \varepsilon_1 \left(\frac{r^3 + 2\alpha_r f_v}{r^3 - \alpha_r f_v} \right)$$

4) 根据公式 计算第二层的介电常数 ε_e 。其中 α_r 如上文所述方式计算。

5) 根据公式 $n_e = \left(\sqrt{\varepsilon_{e1}^2 + \varepsilon_{e2}^2} + \varepsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$, $k_e = \left(\sqrt{\varepsilon_{e1}^2 + \varepsilon_{e2}^2} - \varepsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$ 计算出第二层的折射率 n_e 和消光系数 k_e , ε_{e1} 是介电常数 ε_e 的实部, ε_{e2} 是介电常数 ε_e 的虚部。所计算出的 n_e 和 k_e 分别如图 3 和图 4 所示。

6) 计算热辐射器的吸收率、反射率等光学特性。

7) 检测所计算出的热辐射器吸收率、反射率等光学特性是否符合设计要求, 如果不符合设计要求, 则修改步骤 2) 和步骤 3) 中的掺杂量 f_v 和掺杂颗粒半径 r , 然后重复执行步骤 4) -步骤 6), 直至结果符合设计要求。

8) 输出光学特性曲线与掺杂量 f_v 之间的关系曲线, 如图 5 所示。

以上所述仅是本发明的优选实施方式, 并不用于限制本发明, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明技术原理的前提下, 还可以做出若干改进和变型, 这些改进和变型也应视为本发明的保护范围。

权利要求书

1、一种光谱选择性热辐射器，其特征在于：包括依次设置的第一层、第二层和第三层，所述第一层和第三层均为氧化铅层，所述第二层为分布有多个氧化铟纳米颗粒的氧化铅层。

2、根据权利要求1所述的光谱选择性热辐射器，其特征在于：所述氧化铟纳米颗粒的粒径为5-30nm。

3、根据权利要求1所述的光谱选择性热辐射器，其特征在于：还包括基底层，所述基底层的材质为钼、钨、钽或硅。

4、根据权利要求1所述的光谱选择性热辐射器，其特征在于：所述第一层和第三层的厚度为50-100nm，所述第二层的厚度为200-500nm。

5、根据权利要求1所述的光谱选择性热辐射器，其特征在于：所述光谱选择性热辐射器的吸收波长和/或反射波长的范围为400nm-5000nm。

6、一种权利要求1-5中任一项所述的光谱选择性热辐射器的设计方法，其特征在于，包括以下步骤：

1) 分别获取氧化铅和氧化铟纳米颗粒的介电常数 ϵ_1 和 ϵ_2 ；并确定第二层中氧化铟纳米颗粒的掺杂量 f_v 及氧化铟纳米颗粒的半径 r ；

2) 根据公式
$$\epsilon_e = \epsilon_1 \left(\frac{r^3 + 2\alpha_r f_v}{r^3 - \alpha_r f_v} \right)$$
 获取第二层的介电常数 ϵ_e ；

3) 根据公式
$$n_e = \left(\sqrt{\epsilon_{e1}^2 + \epsilon_{e2}^2} + \epsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$$
 和
$$k_e = \left(\sqrt{\epsilon_{e1}^2 + \epsilon_{e2}^2} - \epsilon_{e1} \right)^{1/2} / \sqrt{2}$$
 分别获取第二层的折射率 n_e 和消光系数 k_e ，其中， ϵ_{e1} 是介电常数 ϵ_e 的实部， ϵ_{e2} 是介电常数 ϵ_e 的虚部；

4) 计算所述光谱选择性热辐射器的吸收率和/或反射率，得到计算值；

5) 将所计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率进行比较，如果计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率相同，则直接进行步骤6)；如果计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率不同，则修改步骤1)中的氧化铟纳米颗粒的掺杂量 f_v 及氧化铟纳米颗粒的半径 r ，然后重复执行步骤2)-4)，直至计算出的吸收率和/或反射率与预设的吸收率和/或反射率相同；

6) 输出光谱选择性热辐射器的光学特性曲线与第二层中氧化铟纳米颗粒的掺杂量 f_v 之间的关系曲线。

7、根据权利要求6所述的设计方法，其特征在于：在步骤1)中，利用氧化铅和氧化铟纳米颗粒的折射率 n_l 和 n_2 ，分别计算出两种材料的介电常数 ϵ_l 和 ϵ_2 。

8、根据权利要求6所述的设计方法，其特征在于：在步骤1)中， $0 < f_v < 1$ 。

$$\alpha_r = \frac{3ic^3 x_r}{2\omega^3 \varepsilon_1^{\frac{3}{2}}}, \text{ 其}$$

9、根据权利要求6所述的设计方法，其特征在于：在步骤2)中，

$$\text{中, } x_r = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} \varphi(x_2) \varphi'(x_1) - \sqrt{\varepsilon_1} \varphi(x_1) \varphi'(x_2)}{\sqrt{\varepsilon_2} \varphi(x_2) \xi'(x_1) - \sqrt{\varepsilon_1} \xi(x_1) \varphi'(x_2)}, \quad x_1 = \omega r \sqrt{\varepsilon_1} / c, \quad x_2 = \omega r \sqrt{\varepsilon_2} / c, \quad i$$

代表虚数， ω 代表角速度， $\varphi(x)$ 代表 $xj_1(x)$ ， $\xi(x)$ 代表 $xh_1^{(1)}(x)$ ， $j_1(x)$ 代表一阶球面贝塞尔函数， $h_1^{(1)}(x)$ 代表第一类汉克尔函数， $\varphi'(x)$ 代表 $\varphi(x)$ 的一阶导数， $\xi'(x)$ 代表 $\xi(x)$ 的一阶导数， $x=x_1$ 或 x_2 。

10、根据权利要求6所述的设计方法，其特征在于：在步骤4)中，通过传输矩阵法计算所述光谱选择性热辐射器的吸收率和/或反射率。

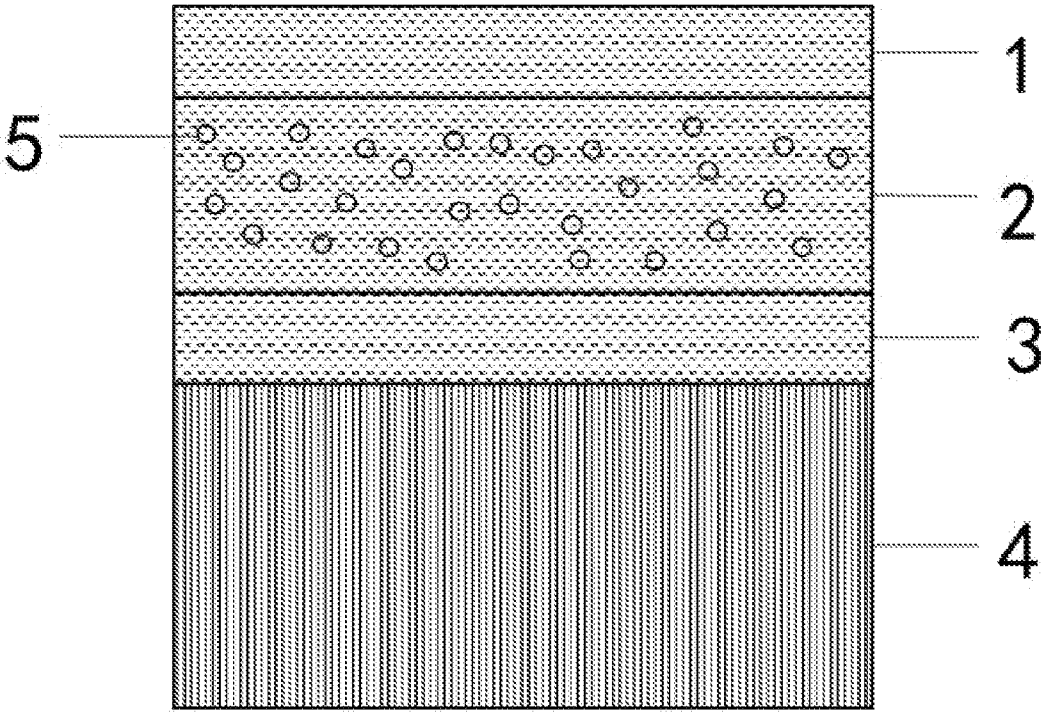


图 1

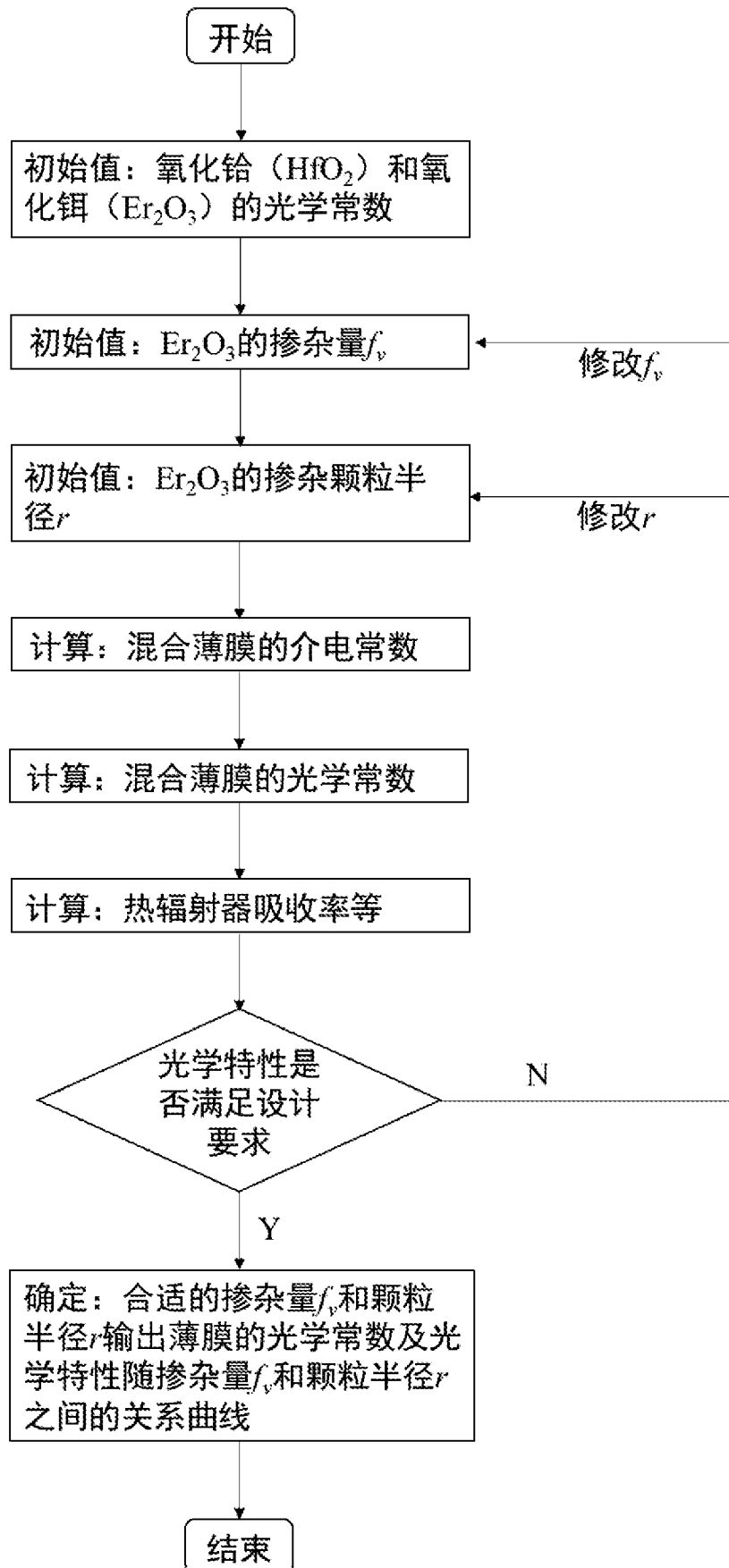


图 2

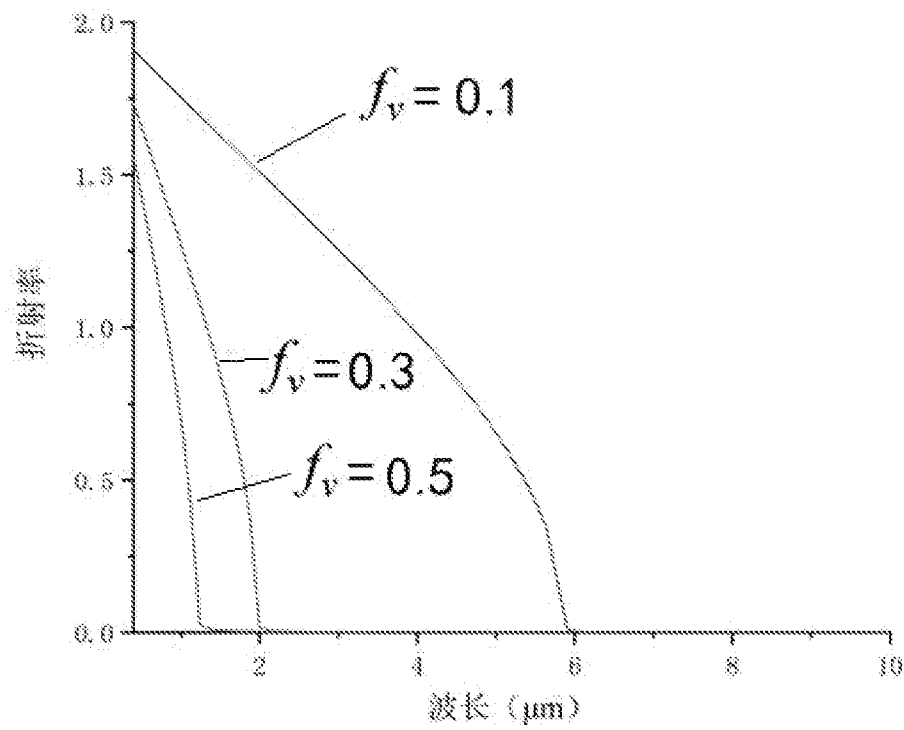


图 3

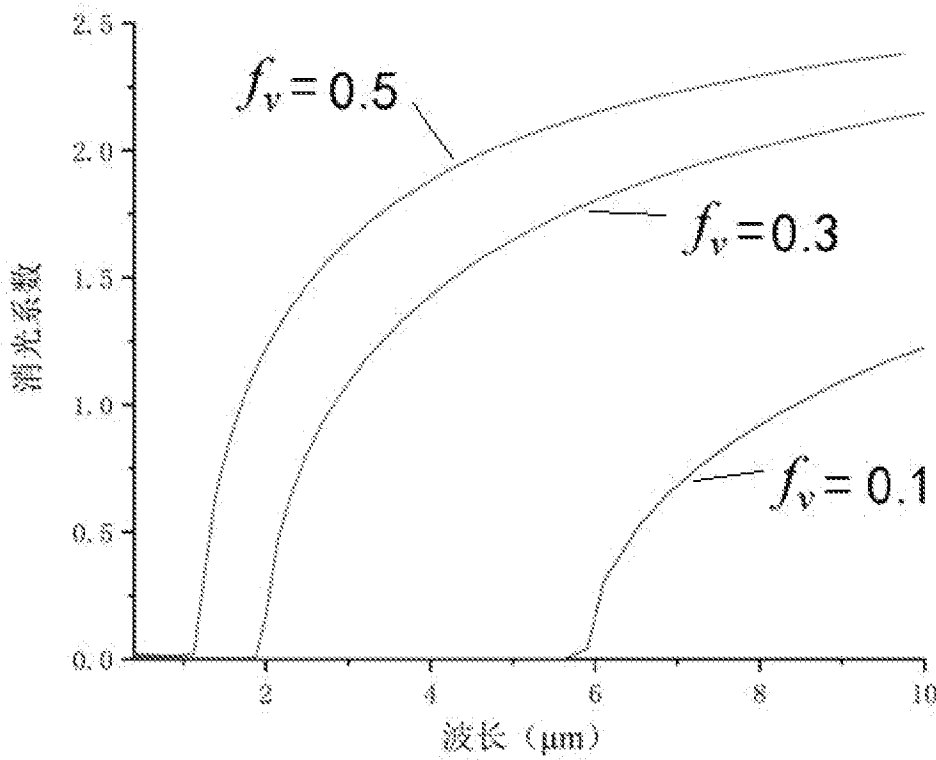


图 4

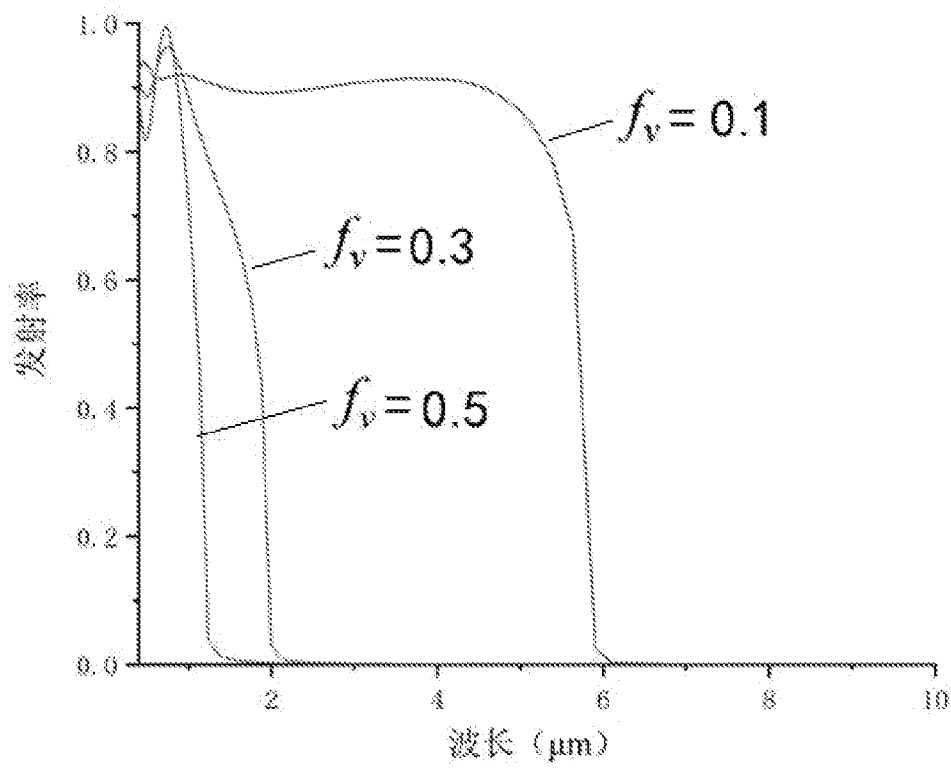


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/088345

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 35/22(2006.01)i; G06F 30/20(2020.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L,G06F

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

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

CNABS; CNTXT; CNKI; SIPOABS; DWPI: 氧化钎, 热辐射, hfo2, 氧化铪, er2o3, heat, radiator, hafnium oxide, erbium oxide

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110957289 A (MU FENGWEN) 03 April 2020 (2020-04-03) description, paragraphs 8-60, and figure 1	1-5
A	CN 110957289 A (MU FENGWEN) 03 April 2020 (2020-04-03) description, paragraphs 8-60, and figure 1	6-10
A	CN 102540462 A (JIANGSU UNIVERSITY) 04 July 2012 (2012-07-04) entire document	6-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 December 2021

Date of mailing of the international search report

23 December 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/ CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/088345

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	110957289	A	03 April 2020	None	
CN	102540462	A	04 July 2012	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/088345

A. 主题的分类

H01L 35/22 (2006.01) i; G06F 30/20 (2020.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H01L, G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNABS; CNTXT; CNKI; SIPOABS; DWPI: 氧化钪, 热辐射, hfo2, 氧化钪, er2o3, heat, radiator, hafnium oxide, erbium oxide

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 110957289 A (母凤文) 2020年4月3日 (2020 - 04 - 03) 说明书第8-60段, 附图1	1-5
A	CN 110957289 A (母凤文) 2020年4月3日 (2020 - 04 - 03) 说明书第8-60段, 附图1	6-10
A	CN 102540462 A (江苏大学) 2012年7月4日 (2012 - 07 - 04) 全文	6-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2021年12月17日

国际检索报告邮寄日期

2021年12月23日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

赵颖

电话号码 62412108

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/088345

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	110957289	A	2020年4月3日	无	
CN	102540462	A	2012年7月4日	无	