



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109212637 A

(43)申请公布日 2019.01.15

(21)申请号 201811300637.7

(22)申请日 2018.11.02

(71)申请人 天津津航技术物理研究所

地址 300308 天津市东丽区空港经济区中  
环西路58号

(72)发明人 刘华松 孙鹏 李士达 季一勤

(74)专利代理机构 中国兵器工业集团公司专利  
中心 11011

代理人 周恒

(51)Int.Cl.

G02B 3/00(2006.01)

G02B 27/00(2006.01)

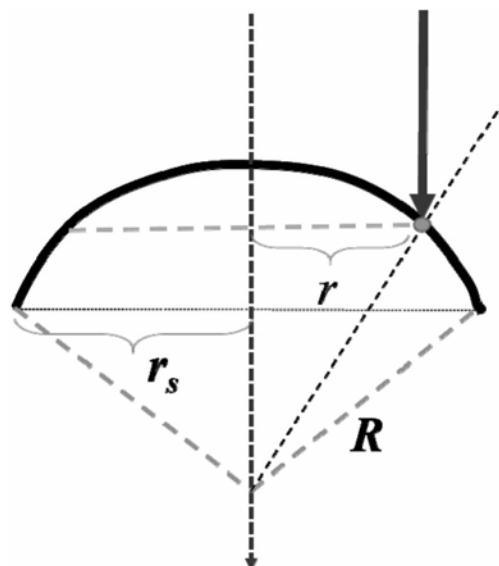
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54)发明名称

一种球面光学多层膜元件的光学特性获取  
方法

(57)摘要

本发明属于光学技术领域,具体涉及一种球面光学多层膜元件的光学特性获取方法。该方法首先将入射光的能量在球面入射光照射面积上均分,然后分别针对平行光入射和点状光源入射的情况,建立球面任意环带上的光线入射角与环带位置坐标的关系,计算出所有球面环带上的光学特性,最后对球面的二重积分进而获得整个球面上的光学特性。该方法对于所有球面形的光学透镜表面薄膜计算和分析具有普适性。



1. 一种球面光学多层膜元件的光学特性获取方法, 其特征在于, 其包括如下步骤:

步骤1: 假设球面表面的是光滑的, 表面粗糙度远小于工作波长, 不考虑表面造成的散射损失;

步骤2: 定义球面的相关参数为: 透镜的口径 $2r_s$ , 球面的曲率半径为 $R$ , 球冠的高度为 $h$ ;

步骤3: 对球面上的光能量进行均化分布, 球冠内的能量密度 $S_a$ 为:

$$S_a = \frac{1}{\pi(r_s^2 + h^2)} = \frac{1}{\pi[r_s^2 + (R - \sqrt{R^2 - r_s^2})^2]} \quad (1)$$

步骤4: 光束入射的方向主要分为以下两类: 第一类是平行光入射, 光的波阵面为平面, 第二类是从球面的焦点位置出射到球面, 光的波阵面为球面。;

在第一种情况下, 球面上任一环带所确定的半径 $r$ 上的入射角为:

$$\theta = a \sin\left(\frac{r}{R}\right) \quad (2)$$

在第二种情况下, 入射点到球面顶点的距离为 $f$ , 则球面上任一环带所确定的半径 $r$ 上的入射角为:

$$\theta = a \sin\left(\frac{r}{R}\right) + a \tan\left(\frac{r}{f + R - \sqrt{R^2 - r^2}}\right) \quad (3)$$

步骤5: 根据薄膜光学的原理, 计算出在任意 $r$ 以及波长 $\lambda$ 的反射率光谱 $R$ 或透射率 $T$ 光谱特性为:

$$X(r, \lambda) = R(r, \lambda) \text{ or } T(r, \lambda) \quad (4)$$

步骤6: 在入射光斑照射的表面在下方投影区域的面积 $S$ 上进行二重积分, 即可得到整个球面的光谱特性:

$$X(\lambda) = \int_S \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dS \quad (5)$$

步骤7: 对光照射的投影区域进行分析, 在球冠的环带的积分半径从0到 $r_s$ , 在投影区域内方位角积分 $\varphi$ 从0到 $2\pi$ , 因此整个球面的光谱特性写成下式:

$$\begin{aligned} X(\lambda) &= \int_S \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_s} \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dr d\varphi \\ &= \frac{2}{\left[r_s^2 + (R - \sqrt{R^2 - r_s^2})^2\right]} \int_0^{r_s} X(r, \lambda) dr \end{aligned} \quad (6)$$

## 一种球面光学多层膜元件的光学特性获取方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学技术领域,具体涉及一种球面光学多层膜元件的光学特性获取方法。

### 背景技术

[0002] 光学透镜是依据光的折射定律,用透明材料制成的表面大多为球面的一部分光学元件。其对特定波长的光线起会聚或者发散作用,从而实现光束的整形,是光学镜头的重要组成元件。

[0003] 当光线入射到透镜表面时,由于入射介质和透镜材料的折射率不同,在透镜表面会发生反射现象,使用在透镜表面镀制光学减反射薄膜的方法可以解决透镜表面的反射问题,以降低表面较高的反射损失。

[0004] 近年来,随着大视场、高精度成像技术的发展,球面透镜的曲率半径越来越大。当光线入射到大曲率半径的透镜表面时,入射角沿着中心向边缘方向逐渐变大,透镜的中心向边缘方向的透射率逐渐降低。此时,透镜表面减反射薄膜的光学特性相对于参照平面基底设计的薄膜的光学特性有明显差别。然而,目前多层光学薄膜特性的研究都是基于光学薄膜的干涉效应,在干涉效应之上建立的矢量法、有效界面法和等效折射率法等光学薄膜理论设计方法,均针对平面光学基底,并不适用于分析球面透镜的透射率。此外,现有的实验手段不能准确测试球面基片的透射率。为了有效降低透镜表面反射造成的杂散光,提高光学镜头的光学效率,必须对球面透镜的光学薄膜光谱特性进行计算分析。

[0005] 综上所述,由于目前光学多层膜的设计均在平面基底上,发明一种球面透镜类的光学多层膜光谱特性计算与分析的方法,对于推进高精度球面光学薄膜元件的发展具有重要应用意义。

### 发明内容

[0006] (一)要解决的技术问题

[0007] 本发明要解决的技术问题是:如何获得球面基底表面光学多层膜光谱特性的获取方案。

[0008] (二)技术方案

[0009] 为解决上述技术问题,本发明提供一种球面光学多层膜元件的光学特性获取方法,其包括如下步骤:

[0010] 步骤1:假设球面表面的是光滑的,表面粗糙度远小于工作波长,不考虑表面造成的散射损失;

[0011] 步骤2:定义球面的相关参数为:透镜的口径 $2r_s$ ,球面的曲率半径为 $R$ ,球冠的高度为 $h$ ;

[0012] 步骤3:对球面上的光能量进行均化分布,球冠内的能量密度 $S_a$ 为:

$$[0013] S_a = \frac{1}{\pi(r_s^2 + h^2)} = \frac{1}{\pi \left[ r_s^2 + \left( R - \sqrt{R^2 - r_s^2} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

[0014] 步骤4: 光束入射的方向主要分为以下两类: 第一类是平行光入射, 光的波阵面为平面, 第二类是从球面的焦点位置出射到球面, 光的波阵面为球面。在第一种情况下, 球面上任一环带所确定的半径r上的入射角为:

$$[0015] \theta = a \sin\left(\frac{r}{R}\right) \quad (2)$$

[0016] 在第二种情况下, 入射点到球面顶点的距离为f, 则球面上任一环带所确定的半径r上的入射角为:

$$[0017] \theta = a \sin\left(\frac{r}{R}\right) + a \tan\left(\frac{r}{f + R - \sqrt{R^2 - r^2}}\right) \quad (3)$$

[0018] 步骤5: 根据薄膜光学的原理, 计算出在任意r以及波长λ的反射率光谱R或透射率T光谱特性为:

$$[0019] X(r, \lambda) = R(r, \lambda) \text{ or } T(r, \lambda) \quad (4)$$

[0020] 步骤6: 在入射光斑照射的表面在下方投影区域的面积S上进行二重积分, 即可得到整个球面的光谱特性:

$$[0021] X(\lambda) = \int_S \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dS \quad (5)$$

[0022] 步骤7: 对光照射的投影区域进行分析, 在球冠的环带的积分半径从0到r<sub>s</sub>, 在投影区域内方位角积分φ从0到2π, 因此整个球面的光谱特性写成下式:

$$[0023] X(\lambda) = \int_S \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_s} \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dr d\varphi \\ = \frac{2}{\left[ r_s^2 + \left( R - \sqrt{R^2 - r_s^2} \right)^2 \right]} \int_0^{r_s} X(r, \lambda) dr \quad (6)$$

[0024] (三) 有益效果

[0025] 与现有技术相比较, 本发明提供一种球面光学多层膜的光谱特性计算方法, 其重新表达球面环带上的光束入射角, 通过二重积分的方法获得整个球面的光谱特性。该方法解决了球面透镜表面透射率的计算分析难题, 对于平行光入射和点光入射的球面透镜具有通用性, 有助于分析光学透镜的特性和光学系统内的光学能量传输特性。

## 附图说明

- [0026] 图1为平行光入射示意图。
- [0027] 图2为点状光入射示意图。
- [0028] 图3为光学多层薄膜的光学特性(入射角为0度)图。
- [0029] 图4为平行光入射下的透射率光谱特性图。
- [0030] 图5为平行光入射下的反射率光谱特性图。

[0031] 图6为点状光入射下的透射率光谱特性图。

[0032] 图7为点状光入射下的反射率光谱特性图。

### 具体实施方式

[0033] 为使本发明的目的、内容、和优点更加清楚,下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。

[0034] 为解决上述技术问题,本发明提供一种球面光学多层膜元件的光学特性获取方法,其包括如下步骤:

[0035] 步骤1:假设球面表面的是光滑的,表面粗糙度远小于工作波长,不考虑表面造成的散射损失;

[0036] 步骤2:定义球面的相关参数为:透镜的口径 $2r_s$ ,球面的曲率半径为R,球冠的高度为h;

[0037] 步骤3:对球面上的光能量进行均化分布,球冠内的能量密度 $S_a$ 为:

$$[0038] S_a = \frac{1}{\pi(r_s^2 + h^2)} = \frac{1}{\pi \left[ r_s^2 + \left( R - \sqrt{R^2 - r_s^2} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

[0039] 步骤4:光束入射的方向主要分为以下两类:第一类是平行光入射,光的波阵面为平面,第二类是从球面的焦点位置出射到球面,光的波阵面为球面。在第一种情况下,球面上任一环带所确定的半径r上的入射角为:

$$[0040] \theta = a \sin\left(\frac{r}{R}\right) \quad (2)$$

[0041] 在第二种情况下,入射点到球面顶点的距离为f,则球面上任一环带所确定的半径r上的入射角为:

$$[0042] \theta = a \sin\left(\frac{r}{R}\right) + a \tan\left(\frac{r}{f + R - \sqrt{R^2 - r^2}}\right) \quad (3)$$

[0043] 步骤5:根据薄膜光学的原理,计算出在任意r以及波长 $\lambda$ 的反射率光谱R或透射率T光谱特性为:

$$[0044] X(r, \lambda) = R(r, \lambda) \text{ or } T(r, \lambda) \quad (4)$$

[0045] 步骤6:在入射光斑照射的表面在下方投影区域的面积S上进行二重积分,即可得到整个球面的光谱特性:

$$[0046] X(\lambda) = \int_S \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dS \quad (5)$$

[0047] 步骤7:对光照射的投影区域进行分析,在球冠的环带的积分半径从0到 $r_s$ ,在投影区域内方位角积分 $\varphi$ 从0到 $2\pi$ ,因此整个球面的光谱特性写成下式:

$$\begin{aligned}
 X(\lambda) &= \int_S \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dS = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_s} \frac{X(r, \lambda)}{S_a} dr d\varphi \\
 [0048] \quad &= \frac{2}{\left[ r_s^2 + \left( R - \sqrt{R^2 - r_s^2} \right)^2 \right]} \int_0^{r_s} X(r, \lambda) dr
 \end{aligned} \tag{6}$$

[0049] 实施例1

[0050] 本实施例为：硒化锌透镜在7.5μm-9.7μm的光谱特性计算。

[0051] 1) 分为两种情况，平行光入射如附图1所示，点状光入射如附图2所示；

[0052] 2) 球面基底为硒化锌材料，球面透镜的参数：曲率半径R为24mm，通光口径为34mm，球冠高为7.06mm；

[0053] 3) 球面表面的薄膜为7.5μm-9.7μm的减反射薄膜，在正入射的情况下，多层膜的反射率光谱和透射率光谱见附图3；

[0054] 4) 在平行光入射的情况下，球面薄膜的光谱特性与平面光谱特性的对比，透射率光谱见附图4，反射率光谱见附图5；球面减反射薄膜的反射率增加，而透射率下降。

[0055] 5) 在点状光入射的情况下，入射点到球面顶点的距离f=48mm，球面薄膜的光谱特性与平面光谱特性的对比，透射率光谱见附图6，反射率光谱见附图7。球面减反射薄膜的反射率增加，而透射率下降。

[0056] 以上所述仅是本发明的优选实施方式，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形，这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

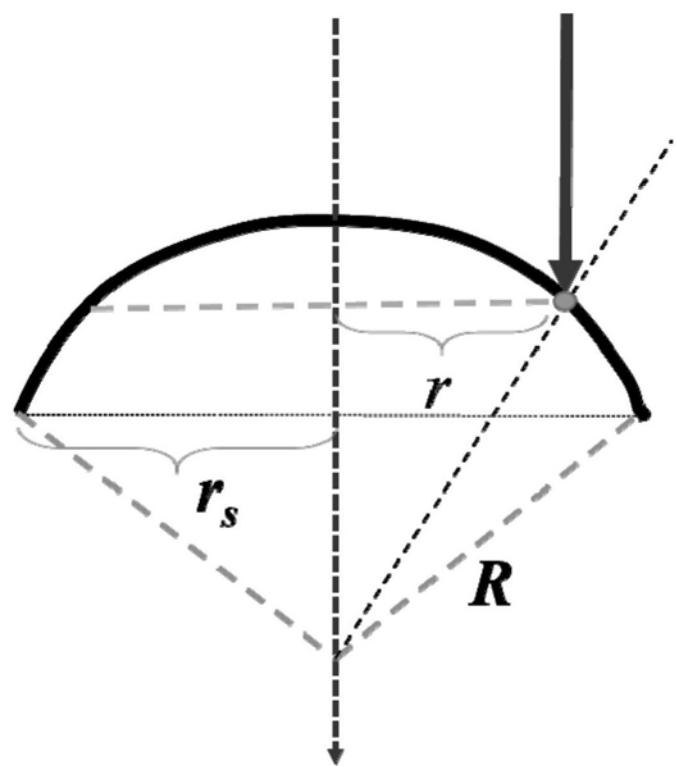


图1

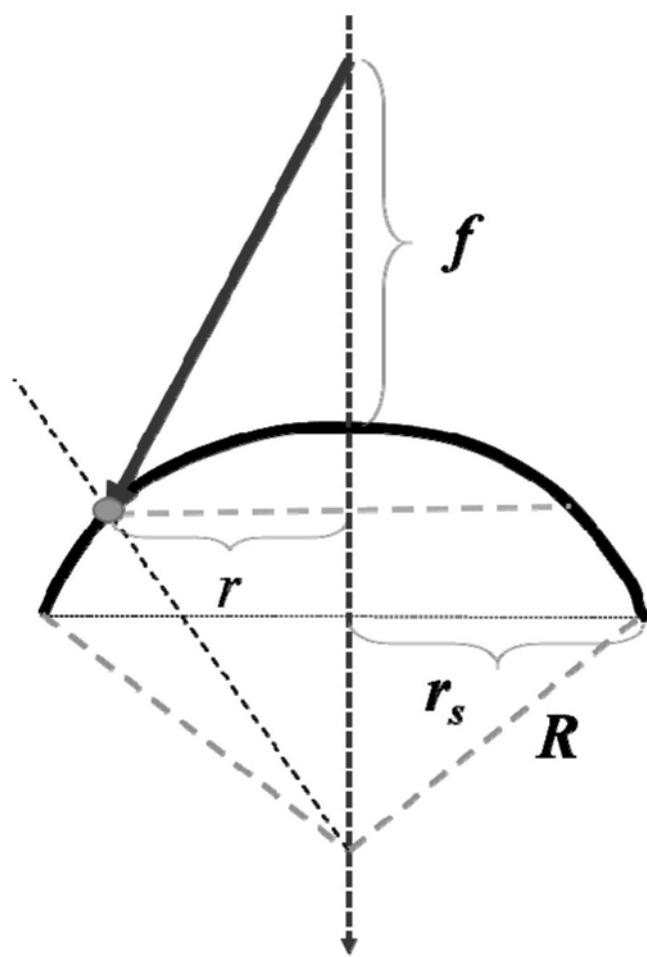


图2

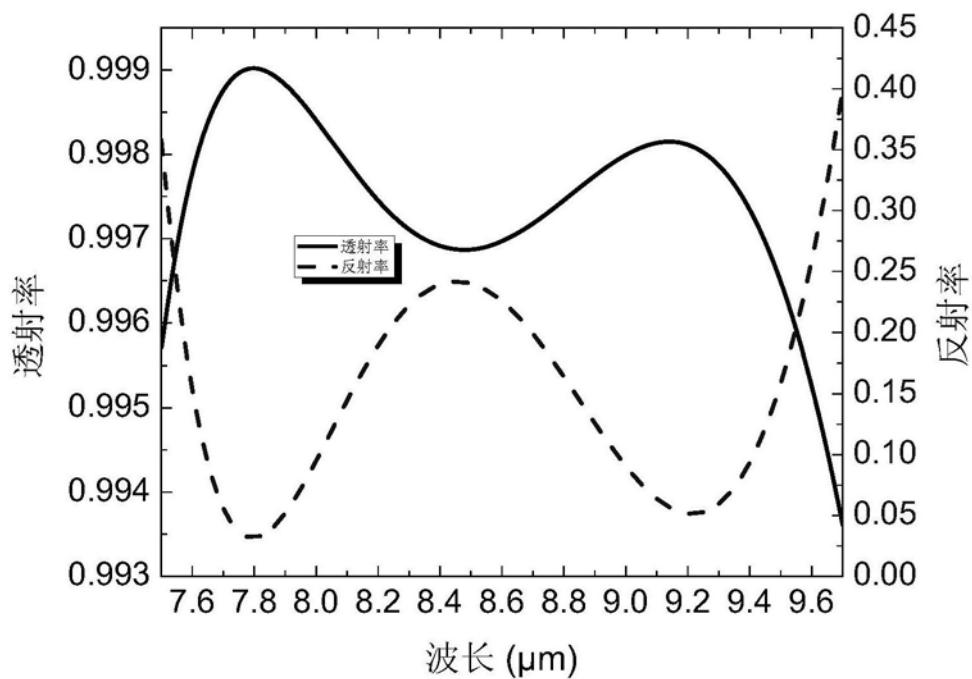


图3

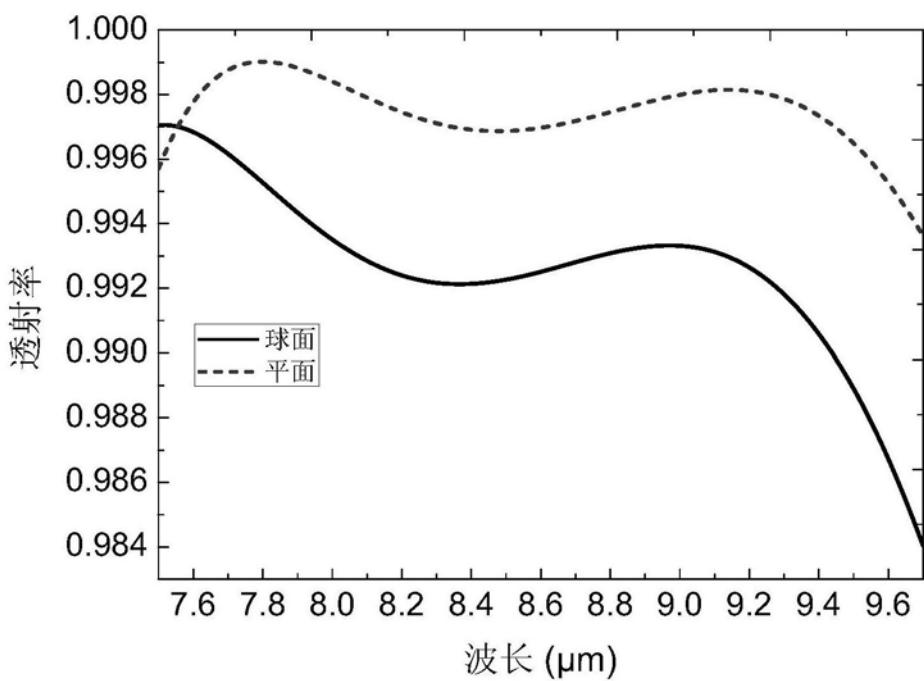


图4

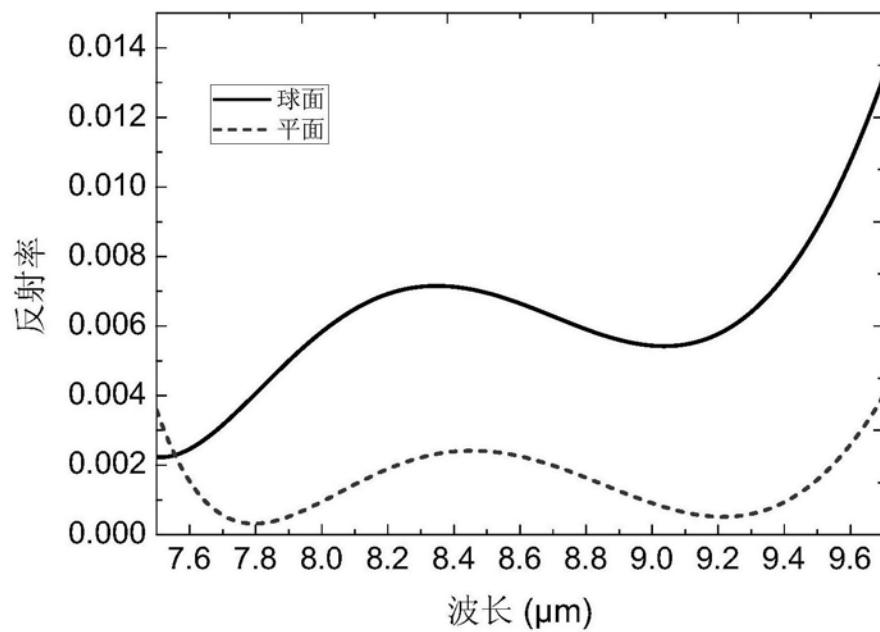


图5

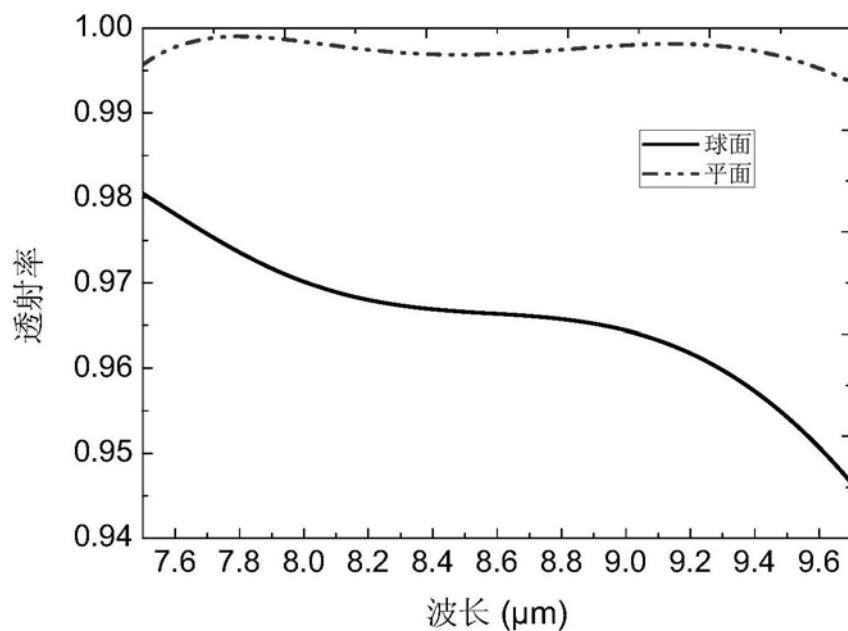


图6

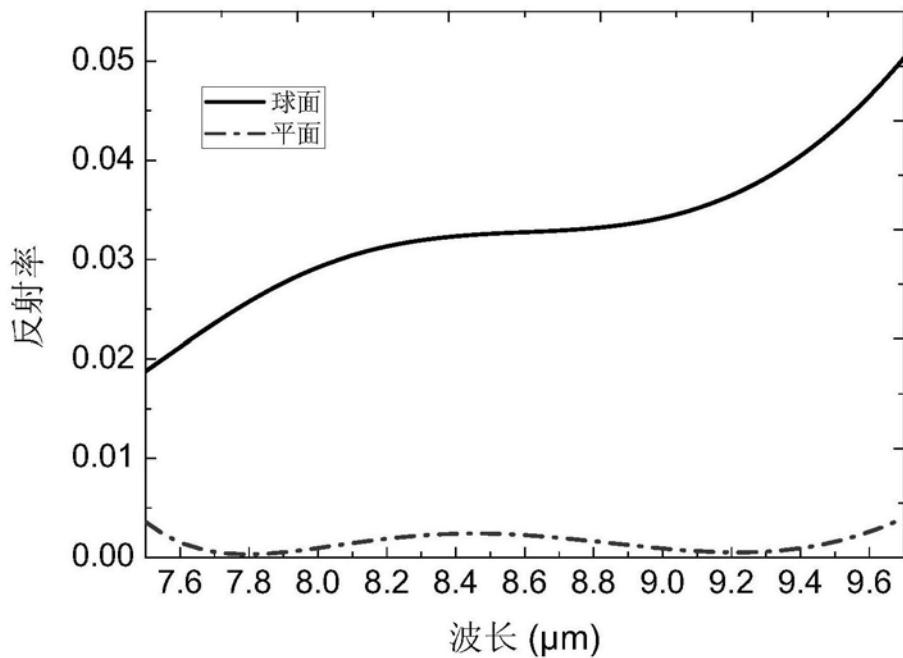


图7