



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 106404675 A

(43) 申请公布日 2017. 02. 15

(21) 申请号 201510478598. X

(22) 申请日 2015. 08. 03

(71) 申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫
200 号

(72) 发明人 潘佳惠 陈钱 吕芳 俞晓东

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203

代理人 唐代盛 孟睿

(51) Int. Cl.

G01N 21/21(2006. 01)

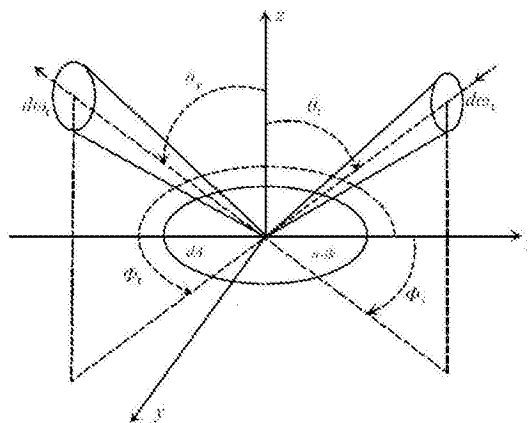
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法

(57) 摘要

本发明提供一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法。使光源产生的光线经偏振态发生器到达待测材料,待测材料反射的光线经偏振态分析器到达探测器;将待测材料围绕一定光路旋转一定角度,且保证光路在待测材料上的光斑位置不发生变化;旋转偏振态发生器或偏振态分析器,使偏振态发生器穆勒矩阵或偏振态分析器的穆勒矩阵发生变化;探测器采集一次出射光数据并存储,直至探测器至少采集十六次出射光数据;根据探测器采集并存储的出射光数据获得面外偏振双向反射函数。本发明方法原理简单,易实施,只需改变辅助角即可改变待测材料相对于光源或者探测器的天顶角或方位角,同时能有效测量方位角改变对偏振双向反射函数的影响。



1. 一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

步骤 1, 构造光路, 使光源产生的光线经偏振态发生器到达待测材料, 待测材料反射的光线经偏振态分析器到达探测器;

步骤 2, 将待测材料围绕一定光路旋转一定角度, 且保证在旋转过程中, 光路在待测材料上的光斑位置不发生变化;

步骤 3, 旋转偏振态发生器或偏振态分析器, 使偏振态发生器穆勒矩阵 M_p 或偏振态分析器的穆勒矩阵 M_a 发生变化;

步骤 4, 探测器采集一次出射光数据并存储, 然后重复步骤 3, 直至探测器至少采集十六次出射光数据;

步骤 5, 根据探测器采集并存储的出射光数据获得面外偏振双向反射函数。

2. 根据权利要求 1 所述面外偏振双向反射函数的方法, 其特征在于, 步骤 2 中, 所述的待测材料围绕入射光光路旋转, 此时旋转角为微面元法线与宏观面法线在入射光方向的夹角 η_i , 相对于待测材料宏观面, 入射光的天顶角 θ_i 不变, 出射光的天顶角 θ_r 变化。

3. 根据权利要求 1 所述面外偏振双向反射函数的方法, 其特征在于, 步骤 2 中, 所述的待测材料围绕出射光光路旋转, 此时旋转角为微面元法线与宏观面法线在入射光方向的夹角 η_r , 相对于待测材料宏观面, 出射光的天顶角 θ_r 不变, 入射光的天顶角 θ_i 变化。

4. 根据权利要求 1 至 3 所述面外偏振双向反射函数的方法, 其特征在于, 步骤 5 中, 根据光路传输方程 $S^{out} = M_a F_S M_p S^{in}$, 直接联立出射光的 16 个方程组解得面外偏振双向反射函数 F_S 。

5. 根据权利要求 1 至 3 所述面外偏振双向反射函数的方法, 其特征在于, 步骤 5 中, 根据如下所示近似傅里叶级数的光强 $I(t)$ 关系式, 求解傅里叶系数 α_{2n} 和 β_{2n} , 获得用傅里叶系数表示的面外偏振双向反射函数 F_S ,

$$I(t) = I_0 \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\alpha_{2n} \cos(2nC - \phi_{2n}) + \beta_{2n} \sin(2nC - \phi_{2n}) \right] \right)$$

式中, n 是探测器采集出射光数据的次数, I_0 为辐照度对时间的平均值, α_{2n} 和 β_{2n} 为傅里叶系数, C 为偏振态发生器或偏振态分析器中两块波片共有的单位角度, ϕ_{2n} 为相位修正角度。

一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学技术领域,具体涉及一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法。

背景技术

[0002] 入射光与界面发生相互作用产生的偏振效应是独特且有辨识性的,它能有效改善人造物体的检测效果,同时对用于探测和识别的光谱算法的改进也有所帮助。双向反射分布函数能有效的描述材料表面的散射光特性,而偏振双向反射分布函数是标量双向反射分布函数的一般化形式,能够模拟表面散射光学中的偏振效应。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提出一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法,该方法原理简单,易实施,只需改变辅助角即可改变待测材料相对于光源或者探测器的天顶角或方位角,同时能有效测量方位角改变对偏振双向反射函数的影响,利于后续的科研。

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供一种测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤 1,构造光路,使光源产生的光线经偏振态发生器到达待测材料,待测材料反射的光线经偏振态分析器到达探测器;

[0006] 步骤 2,将待测材料围绕一定光路旋转一定角度,且保证在旋转过程中,光路在待测材料上的光斑位置不发生变化;

[0007] 步骤 3,旋转偏振态发生器或偏振态分析器,使偏振态发生器穆勒矩阵 M_p 或偏振态分析器的穆勒矩阵 M_a 发生变化;

[0008] 步骤 4,探测器采集一次出射光数据并存储,然后重复步骤 3,直至探测器至少采集十六次出射光数据;

[0009] 步骤 5,根据探测器采集并存储的出射光数据获得面外偏振双向反射函数。

[0010] 进一步,在步骤 2 中,所述的待测材料围绕入射光光路旋转,此时旋转角为微面元法线与宏观面法线在入射光方向的夹角 η_i ,相对于待测材料宏观面,入射光的天顶角 θ_i 不变,出射光的天顶角 θ_r 变化。

[0011] 进一步,在步骤 2 中,所述的待测材料围绕出射光光路旋转,此时旋转角为微面元法线与宏观面法线在入射光方向的夹角 η_r ,相对于待测材料宏观面,出射光的天顶角 θ_r 不变,入射光的天顶角 θ_i 变化。

[0012] 进一步,在步骤 5 中,根据光路传输方程 $S^{out} = M_a F_s M_p S^{in}$,直接联立出射光的 16 个方程组解得面外偏振双向反射函数 F_s 。

[0013] 进一步,在步骤 5 中,根据如下所示近似傅里叶级数的光强 $I(t)$ 关系式,求解傅里叶系数 α_{2n} 和 β_{2n} ,获得用傅里叶系数表示的面外偏振双向反射函数 F_s ,

$$[0014] \quad I(\sigma) = I_0 (1 + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_{2n} \cos(2nC - \phi_{2n}) + \beta_{2n} \sin(2nC - \phi_{2n}))$$

[0015] 式中, n 是探测器采集出射光数据的次数, I_0 为辐照度对时间的平均值, α_{2n} 和 β_{2n} 为傅里叶系数, C 为偏振态发生器或偏振态分析器中两块波片共有的单位角度, ϕ_{2n} 为相位修正角度。

[0016] 上本发明与现有技术相比, 其显著优点在于, (1) 原理简单, 只需改变辅助角即可改变待测材料相对于光源或者探测器的天顶角或方位角, (2) 容易实施并且实施条件简单, 所需测量设备不再局限于圆弧导轨。

附图说明

[0017] 图 1 是待测材料粗糙表面的宏观示意图。

[0018] 图 2 是待测材料粗糙表面的微面元示意图。

具体实施方式

[0019] 容易理解, 依据本发明的技术方案, 在不变更本发明的实质精神的情况下, 本领域的一般技术人员可以想象出本发明测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法的多种实施方式。因此, 以下具体实施方式和附图仅是对本发明的技术方案的示例性说明, 而不应当视为本发明的全部或者视为对本发明技术方案的限制或限定。

[0020] 基于微面元模型的偏振双向反射函数在学术界得到广泛的认可, 其假设一般的粗糙材料表面是由一系列的微面元构成, 而每一个微面元认为是遵循菲尼尔方程的镜面反射面, 此外微面元的整体分布遵循一定的统计分布函数。4*4 的偏振双向反射函数 F_s 具体定义式如下:

[0021]

$$F_s(\theta_i, \theta_r, \theta) = \frac{1}{4} \frac{1}{\cos(\theta) \cos(\theta_r) \cos(\theta_i)} p(\sigma, \theta) M(\theta_i, \theta_r, \theta) \quad (1)$$

$$[0022] \quad \theta = \cos^{-1} \left(\frac{\cos(\theta_i) + \cos(\theta_r)}{2 \cos(\beta)} \right) \quad (2)$$

[0023]

$$\cos(2\beta) = \cos(\theta_i) \cos(\theta_r) + \sin(\theta_i) \sin(\theta_r) \cos \varphi \quad (3)$$

$$[0024] \quad p(\sigma, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2 \cos^2(\theta)} \exp\left(-\frac{\cos^2(\theta)}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

[0025] 其中, 如图 1 所示, θ_i, θ_r 分别代表入射光的天顶角和方位角, θ_r, θ_i 分别代表反射光的天顶角和方位角, 方位角 $\varphi = \theta_r - \theta_i$, 如图 2 所示, θ 是微面元法向量和宏观面法向量之间的夹角, β 是微面元的天顶角。就本质上而言, 穆勒矩阵 M 是考虑偏振和微面元效应后的反射率。 $p(\sigma, \theta)$ 是高斯分布函数, σ 作为可变的宽度分布因子, 实质的物理意义与表面粗糙度相关。前述方程 (1) 中的穆勒矩阵 M 一般由琼斯矩阵 T 推导而得, 其简单推导如下所述:

$$\begin{bmatrix} E_s^r \\ E_p^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & r_{sp} \\ r_{sp} & r_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_s^i \\ E_p^i \end{bmatrix}$$

[0026]

$$= \begin{bmatrix} \cos(\eta_r) & \sin(\eta_r) \\ -\sin(\eta_r) & \cos(\eta_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_s & 0 \\ 0 & r_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\eta_i) & -\sin(\eta_i) \\ \sin(\eta_i) & \cos(\eta_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_s^i \\ E_p^i \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\cos(\eta_i) = \left[\frac{\cos(\theta_i) + \cos(\theta_r)}{2\cos\beta} - \cos(\theta_i)\cos\beta \right] / (\sin(\theta_i)\sin\beta) \quad (6)$$

$$\cos(\eta_r) = \left[\frac{\cos(\theta_i) + \cos(\theta_r)}{2\cos\beta} - \cos(\theta_r)\cos\beta \right] / (\sin(\theta_r)\sin\beta) \quad (7)$$

[0029] 其中, E_s^i 、 E_p^i 分别代表入射光和反射光中的 s 光的电场分量, 而 E_s^r 、 E_p^r 分别代表入射光和反射光中的 p 光的电场分量。s 光和 p 光的菲涅尔反射系数 r_s 、 r_p 将入射电场与反射电场两者关联。辅助角 η_i 、 η_r 分别是宏观面法线和微面元法线之间沿入射方向、出射方向的夹角。一般而言, η_i 、 η_r 两者不等, 但是两者都是由 θ_i 、 θ_r 、 β 决定的唯一值。最后通过穆勒矩阵 M 与琼斯矩阵 T 的关系式即可得到粗糙表面的偏振双向反射函数。

[0030] 为测得面外偏振双向反射函数, 传统的测量方法是将被测材料固定于图 1 的 x-y 平面, 调节光源和探测器的位置实现方位角的变化。这样的方法易于理解, 实际操作却比较复杂。为了保证在光源和探测器的位置变化时探测器采集到的待测材料无位移, 就需要价格昂贵的圆弧导轨, 并且待测材料必须保证固定于圆弧导轨的圆心。

[0031] 本发明所述测量粗糙表面面外偏振双向反射函数的方法, 具体步骤如下:

[0032] 步骤 1, 构造光路, 使光源产生的光线经偏振态发生器到达待测材料, 待测材料反射的光线经偏振态分析器到达探测器;

[0033] 步骤 2, 将待测材料围绕入射光路旋转且在旋转过程中入射光路在待测材料上的光斑位置不发生变化, 此时旋转角为微面元法线与宏观面法线在入射光路方向的夹角 η_i , 相对于待测材料宏观面而言, 入射光路的天顶角 θ_i 不变, 出射光路的天顶角 θ_r 变化。在前述方程 (6) 中, 入射光路的天顶角 θ_i 和微面元的天顶角 β 不变, 已知辅助角 η_i 即可推导出相应的出射光路的天顶角 θ_r , 再代入前述方程 (3) 求得方位角 ϕ 。这样就间接改变入射光路方位角 ϕ_i 与出射光路方位角 ϕ_r 的夹角 ϕ , 即 $\phi = |\phi_r - \phi_i|$ 。

[0034] 在上述步骤 2 中, 所述的待测材料还可以围绕出射光路旋转且在旋转过程中出射光路在待测材料上的光斑位置不发生变化, 此时旋转角为微面元法线与宏观面法线在入射光路方向的夹角 η_r , 相对于待测材料宏观面而言, 出射光路的天顶角 θ_r 不变, 入射光路的天顶角 θ_i 变化。在前述方程 (7) 中, 出射光路的天顶角 θ_r 和微面元的天顶角 β 不变, 已知辅助角 η_r 即可推导出相应的入射光路的天顶角 θ_i , 再代入前述方程 (3) 求得方位角 ϕ 。这样就间接改变入射光路方位角 ϕ_i 与出射光路方位角 ϕ_r 的夹角 ϕ , 即 $\phi = |\phi_r - \phi_i|$ 。

[0035] 步骤 3, 旋转偏振态发生器或偏振态分析器, 使偏振态发生器穆勒矩阵 M_p 或偏振态分析器的穆勒矩阵 M_a 发生变化; 偏振态发生器和偏振态分析器都是由一块偏振片和一块波片构成, 对于入射光先经过偏振态发生器的偏振片再经过波片, 而出射光先经过偏振态分析器的波片再经过偏振片到达探测器。

[0036] 步骤4,探测器采集一次出射光数据并存储,重复步骤3。由于偏振双向反射函数 F_S 是 4×4 的矩阵,至少共旋转偏振态发生器或偏振态分析器十六次,探测器至少再次十六次下分别采集十六次出射光数据才能求得该函数;

[0037] 步骤5,将探测器采集并存储的所有出射光数据根据光路传输方程 $S^{out} = M_A F_S M_F S^{in}$,直接联立16个出射光方程组解得面外偏振双向反射函数 F_S 。重复步骤2,进行下一方位角的数据测量。

[0038] 在步骤5中,所述的数据处理还可以是傅里叶分析。由于探测器获得的数据是出射光的光强信息,所以将光路传输方程: $S^{out} = M_A F_S M_F S^{in}$ 按第一行展开,得到近似傅里叶级数的光强关系式:

[0039]
$$I(\theta) = I_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} [\alpha_{2n} \cos(2nC - \phi_{2n}) + \beta_{2n} \sin(2nC - \phi_{2n})] \right]$$

[0040] 式中, n 是探测器采集出射光数据的次数, I_0 为辐照度对时间的平均值, α_{2n} 和 β_{2n} 为傅里叶系数, C 为偏振态发生器或偏振态分析器中两块波片共有的单位角度, ϕ_{2n} 为相位修正角度。

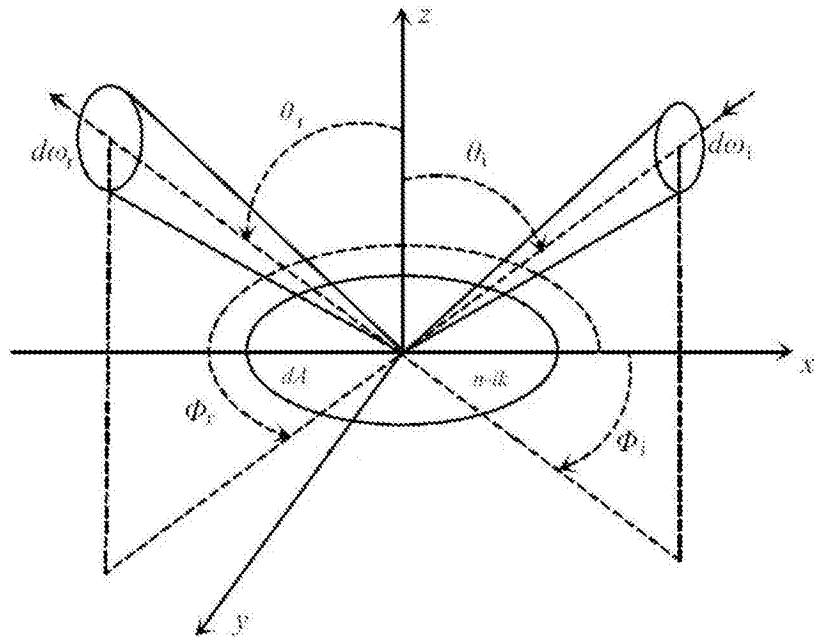


图 1

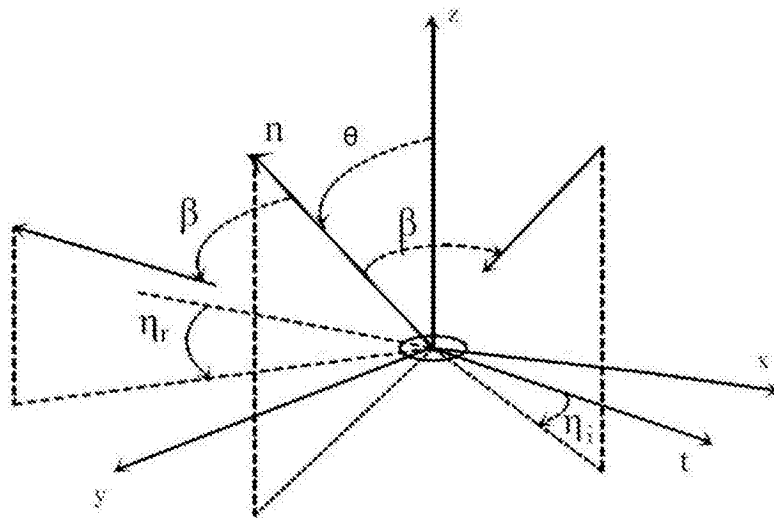


图 2