

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01B 11/06 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410011282.1

[43] 公开日 2006 年 2 月 1 日

[11] 公开号 CN 1727842A

[22] 申请日 2004.11.30

[21] 申请号 200410011282.1

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130031 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 杨 雄 姚志华 张立超 金卫华
金春水

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司

代理人 梁爱荣

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

[54] 发明名称

用衍射仪测量等周期多层膜膜厚随机变化量的方法

[57] 摘要

本发明涉及多层膜参数测量技术。在 X 射线衍射仪上测量多层膜，得到记录有反射率或衍射光强及其入射角 θ 的数据文件；利用一个峰值反射率或两个峰值衍射光强及其入射角 θ 和衍射级 m ，再根据多层膜的比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，利用公式 $\alpha/2 = m\gamma\pi$ 和如上述公式以及 $\Delta d = \Delta \alpha \lambda / 4\pi \sin \theta$ 计算得到多层膜周期厚度的随机变化量的均方差 Δd ，完成对多层膜膜厚随机变化量的测量。本发明利用测量多层膜周期厚度时得到的数据文件，利用一个峰值反射率或两个峰值衍射光强及与其相对应的掠入射角 θ 和衍射级 m ，根据多层膜的厚度比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，就可以得到等周期多层膜膜厚随机变化量的均方差值，解决了背景技术只能计算出多

层膜周期厚度的问题。

$$\alpha/2 = m\gamma\pi \text{ 和 } R = r_{12}^2 4N^2 e^{-\cos^2(\alpha/2)} \sin^4(\alpha/2) \text{ 或 } I = Ar_{12}^2 4N^2 e^{-\cos^2(\alpha/2)} \sin^4(\alpha/2)$$

$$\Delta d = \Delta \alpha \lambda / 4\pi \sin \theta$$

1、用衍射仪测量等周期多层膜膜厚随机变化量的方法，其特征在于：a、首先在衍射仪上，利用测量多层膜周期厚度的方法对多层膜进行测量，得到记录有反射率及与其相对应的掠入射角度 θ 的数据文件；

b、寻找步骤 a 中数据文件的一个峰值反射率 R 及与其相对应的掠入射角度 θ 和衍射级 m ，然后再根据多层膜制备时确定的比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，然后利用公式： $\alpha/2 = m\gamma\pi$ 的得到 $\alpha/2$ 的数值，将各参数带入公式： $R = r_{12}^2 4N^2 e^{-\langle m^2(\Delta\alpha)^2 \rangle} \sin^4(\alpha/2)$ ，计算得到 $\Delta\alpha$ 的值，最后再利用公式： $\Delta d = \Delta\alpha\lambda / 4\pi \sin\theta$ 计算得到多层膜周期厚度的随机变化量的均方差 Δd ，则利用一个峰值反射率完成了对多层膜膜厚随机变化量的测量。

2、用衍射仪测量等周期多层膜膜厚随机变化量的方法，其特征在于：a、首先在衍射仪上，利用测量多层膜周期厚度的方法对多层膜进行测量，得到记录有衍射光强及与其相对应的掠入射角度 θ 的数据文件；

c、寻找步骤 a 中数据文件的任意两个峰值衍射光强 I 及与其相对应的掠入射角度 θ 和衍射级 m ，然后再根据多层膜制备时确定的比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，将两组 I 、 θ 和 m 代入公式： $\alpha/2 = m\gamma\pi$ 和 $I = Ar_{12}^2 4N^2 e^{-\langle m^2(\Delta\alpha)^2 \rangle} \sin^4(\alpha/2)$ ，得到 $\Delta\alpha$ 的值，最后利用公式： $\Delta d = \Delta\alpha\lambda / 4\pi \sin\theta$ 计算得到多层膜周期厚度的随机变化量的均方差 Δd ，则利用两个峰值衍射光强完成了对多层膜膜厚随机变化量的测量。

用衍射仪测量等周期多层膜膜厚随机变化量的方法

技术领域：本发明涉及多层膜参数测量领域，涉及采用衍射仪测量多层膜膜厚技术。

技术背景：目前，利用 X 射线衍射仪可以测量等周期多层膜参数包括：周期厚度、界面粗糙度、膜层材料的平均实部折射率。X 射线衍射仪包括：X 射线光源 1；样品 2；接收器 3；X 射线衍射仪测量等周期多层膜周期厚度的基本原理：当 X 射线入射到多层膜时，在多层膜的各个界面产生反射，而这些反射光又相互干涉，在每个周期所引入的位相延迟等于 2π 整数倍时，各个反射光能够干涉加强并得到极大值，此时满足如下的关系式：

$$m\lambda = 2d \sin \theta \sqrt{1 - \frac{2\delta - \delta^2}{\sin^2 \theta}} \quad (1)$$

m 为干涉级次， λ 为 X 射线的波长， d 为周期厚度， θ 为掠入射角， δ 为平均折射率。将 (1) 式近似处理得到：

$$\frac{m\lambda}{2 \sin \theta} = d - d \frac{\delta}{\sin^2 \theta} \quad (2)$$

从 (2) 式可以看到，对于某一给定周期厚度的等周期多层膜， $m\lambda/2 \sin \theta$ 与 $1/\sin^2 \theta$ 成线性关系。如果能够获得衍射级次 m 以及相对应的掠入射角 θ ，利用不同的衍射级次，采用最小二乘法进行拟合，就可以同时得到周期厚度 d 和平均实部折射率 δ 。

衍射仪测量多层膜的过程如图 1 所示：X 射线光源位置固定，

样品顺时针旋转，实现了掠入射角 θ 的连续扫描，同时，接收器以两倍角速度顺时针旋转，以保证接收器与反射光保持同步。衍射仪的测量结果包含入射角和反射光强两种信息，更先进的衍射仪还可以直接测得反射率。通过寻找测量数据中的衍射峰以及对应的入射角，利用(2)式并结合最小二乘法，计算出多层膜的周期厚度 d 。

详细内容：为了解决背景技术只能计算出多层膜的周期厚度 d ，不能对等周期多层膜膜厚随机变化量的测量问题，本发明的目的是提供一种能对等周期多层膜膜厚随机变化量进行测量的方法。

本发明的具体步骤如下：

a、首先在衍射仪上，利用背景技术中测量周期厚度的方法对多层膜进行测量，得到记录有反射率或衍射光强及与其相对应的掠入射角 θ 的数据文件；

b、寻找步骤 a 中数据文件的一个峰值反射率 R 及与其相对应的掠入射角度 θ 和衍射级 m ，再根据多层膜制备时确定的厚度比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，利用公式： $\alpha/2 = m\gamma\pi$ 得到 $\alpha/2$ 的数值，再利用公式： $R = r_{12}^2 4N^2 e^{-\langle m^2(\Delta\alpha)^2 \rangle} \sin^4(\alpha/2)$ 计算得到 $\Delta\alpha$ 的值，最后利用公式： $\Delta d = \Delta\alpha\lambda / 4\pi \sin\theta$ 计算得到多层膜周期厚度的随机变化量的均方差 Δd ，则利用一个峰值反射率完成了对多层膜膜厚随机变化量的测量。

或 c、寻找步骤 a 中数据文件的两个峰值衍射光强 I 及与其相对应的掠入射角度 θ 和衍射级 m ，然后根据多层膜制备时确定的厚

度比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，利用公式： $\alpha/2 = m\gamma\pi$ 得到 $\alpha/2$ 的数值，再利用公式： $I = Ar_{12}^2 4N^2 e^{-\langle m^2(\Delta\alpha)^2 \rangle} \sin^4(\alpha/2)$ 计算得到 $\Delta\alpha$ 的值，最后利用公式： $\Delta d = \Delta\alpha\lambda/4\pi \sin\theta$ 计算得到多层膜膜厚的随机变化量的均方差 Δd ，则利用两个峰值衍射光强完成了对多层膜膜厚随机变化量的测量。

本发明的优点：由于本发明利用数据文件的一个峰值反射率或两个峰值衍射光强及与其相对应的掠入射角 θ 和衍射级 m ，根据多层膜的厚度比值 γ 、周期数 N 和单界面反射系数 r_{12} ，而不需要对衍射仪的硬件设备做任何变动，就可以得到多层膜膜厚随机变化量的均方差值，解决了背景技术只能计算出多层膜的周期厚度 d ，不能对等周期多层膜膜厚随机变化量的测量问题。

附图说明：

图 1 是背景技术利用衍射仪检测多层膜样品的工作原理图

具体实施方式：

实施例方式 1：等周期多层膜由两种材料组成，其折射率分别为 $n_1=0.99997109$ 和 $n_2=0.99999232$ ，厚度比值为 $\gamma=0.35$ ，周期数 $N=30$ 。利用波长 $\lambda = 0.154\text{nm}$ 的衍射仪测量多层膜，其过程与背景技术中测量多层膜周期厚度的方法相同，得到记录有反射率及与其相对应的掠入射角 θ 的数据文件。利用衍射仪的峰值搜索工具或其它峰值搜索工具，寻找数据文件中的一个峰值反射率 $R=0.207\%$ 及与其相对应的掠入射角 3° 和衍射级次 4 。如下所示公式：首先，

由公式 (3)、(4) 计算得到 r_{12} 等于 0.0039，通过公式 (5) 计算得到 $\alpha/2$ 等于 1.4π ，通过 (6) 式计算得到 $\Delta\alpha$ 等于 0.4384，最后利用 (7) 式计算得到多层膜膜厚的随机变化量的均方差 Δd 等于 0.1nm，则完成了对多层膜膜厚的随机变化量的测量。

$$\sin \theta_2 = \sqrt{1 - \frac{n_1^2}{n_2^2} \cos^2 \theta_1} \quad (3)$$

$$r_{12} = \frac{n_1 \sin \theta_1 - n_2 \sin \theta_2}{n_1 \sin \theta_1 + n_2 \sin \theta_2} \quad (4)$$

$$\alpha/2 = m\gamma\pi \quad (5)$$

$$R = r_{12}^2 4N^2 e^{-\langle m^2 (\Delta\alpha)^2 \rangle} \sin^4(\alpha/2) \quad (6)$$

$$\Delta d = \Delta\alpha\lambda / 4\pi \sin \theta \quad (7)$$

实施例方式 2：制备由两种材料组成，其折射率分别为 $n_1=0.99997109$ 和 $n_2=0.99999232$ ，厚度比值为 $\gamma=0.35$ ，周期数 $N=30$ 的等周期多层膜。利用波长 $\lambda = 0.154\text{nm}$ 的衍射仪测量多层膜，其过程与背景技术中测量多层膜周期厚度的方法相同，得到记录有衍射光强及与其相对应的掠入射角 θ 的数据文件。利用衍射仪的峰值搜索工具或其它峰值搜索工具，寻找数据文件中的任意两个峰值衍射光强 I_1 和 I_2 及与其相对应的掠入射角 θ_1 和 θ_2 以及衍射级次 m_1 和 m_2 。首先利用公式 (3)、(4) 计算得到 r_{12} ，然后将两组 I 、 θ 以及 m 值带入公式 (5)、(8)，计算得到 $\Delta\alpha$ ，最后利用公式 (7) 计算得到多层膜膜厚的随机变化量的均方差 Δd 。

$$I = Ar_{12}^2 4N^2 e^{-\langle m^2 (\Delta\alpha)^2 \rangle} \sin^4(\alpha/2) \quad (8)$$

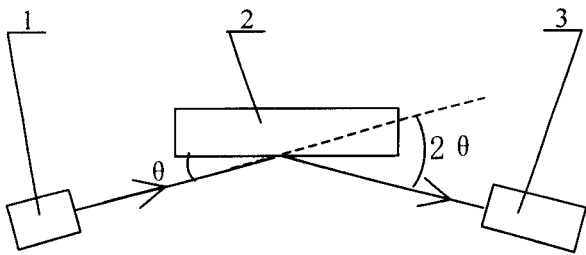


图 1