



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114481063 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 13

(21) 申请号 202111641216.2

(22) 申请日 2021.12.29

(71) 申请人 苏州闻道电子科技有限公司
地址 215400 江苏省苏州市太仓市娄东街
道北京东路88号东B幢

(72) 发明人 朱京涛 赵世暖 杨泽华 屠洛涔
孙航 金宇

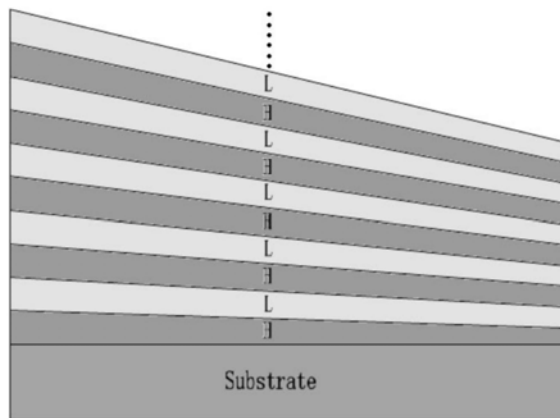
(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569
专利代理师 刘芳

(51) Int. Cl.
G23C 14/35 (2006.01)
G23C 14/06 (2006.01)
G23C 14/14 (2006.01)
G23C 14/54 (2006.01)
G02B 5/30 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称
一种多层膜偏振器及其制备方法

(57) 摘要
本发明涉及一种多层膜偏振器及其制备方法。本发明提供的多层膜偏振器,通过在横向上不同位置镀制周期多层膜(即交替设置第一材料层和第二材料层,并使第一材料层与第二材料层的厚度和沿横向梯度递增),以能够在针对不同的工作能点,在使用中只需要平移偏振器,就能拓展偏振器的工作带宽,进而能够实现400-1000eV工作能量连续可调的偏振光学元件,提高偏振检测的效果和精确性。



1. 一种多层膜偏振器,其特征在于,包括:第一材料层和第二材料层;

所述第一材料层和所述第二材料层交替设置;所述第一材料层与所述第二材料层的厚度和沿横向梯度递增。

2. 根据权利要求1所述的多层膜偏振器,其特征在于,所述第一材料层为 WSi_2 膜层或W膜层。

3. 根据权利要求2所述的多层膜偏振器,其特征在于,当所述第一材料层为 WSi_2 膜层时,所述第二材料层为Si膜层;

当所述第一材料层为W膜层时,所述第二材料层为 B_4C 膜层。

4. 根据权利要求3所述的多层膜偏振器,其特征在于,所述 WSi_2 膜层与所述Si膜层的厚度和的范围为1.5nm-2.03nm。

5. 根据权利要求3所述的多层膜偏振器,其特征在于,所述W膜层和所述 B_4C 膜层的厚度和的范围为1.13nm-2.18nm。

6. 根据权利要求3所述的多层膜偏振器,其特征在于,所述 WSi_2 膜层与所述Si膜层的厚度和沿横向递增的梯度为0.018nm/mm。

7. 根据权利要求3所述的多层膜偏振器,其特征在于,所述W膜层和所述 B_4C 膜层的厚度和沿横向递增的梯度为0.021nm/mm。

8. 根据权利要求1所述的多层膜偏振器,其特征在于,所述第一材料层和所述第二材料层的厚度比的范围为0.2~0.8。

9. 一种多层膜偏振器的制备方法,其特征在于,包括:

采用直流磁控溅射法和时间控制法在基底上交替制备第一材料层和第二材料层,直至第一材料层和第二材料层的周期数满足预设要求,以得到如权利要求1-8任意一项所述的多层膜偏振器;

所述第一材料层与所述第二材料层的厚度和在制备过程中均沿横向梯度递增。

10. 根据权利要求9所述的多层膜偏振器的制备方法,其特征在于,采用公式

$$t = \frac{m_x h^2 (h^2 + r^2 + a^2)}{\rho \pi (h^2 + r^2 + a^2 + 2ar)^{1.5} (h^2 + r^2 + a^2 - 2ar)^{1.5}}$$

确定所述第一材料层的溅射厚度或所述第二材料层的溅射厚度;

采用公式 $T(y) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{v_{t_0} [1+f(a)] t/t_0}{v_{sub}(x)} dx$ 确定第一材料层上一点或第二材料层上一点的膜厚;

其中,t为溅射厚度, m_x 为溅射材料的摩尔质量,h为靶基距,r为等效刻蚀环半径,a为计算点到基底中心的位置, $a = (x^2 + y^2)^{1/2}$, (x,y)为基底中心的位置坐标, x_1 为第一材料层或第二材料层上一点掠过溅射区的初始位置, x_2 为第一材料层或第二材料层上一点掠过溅射区的结束位置, ρ 为靶材密度, t/t_0 为 $a=0$ 处的溅射厚度, v_{t_0} 为溅射粒子在零点位置的沉积速率, $v_{sub}(x)$ 为材料层上一点掠过靶时的速率,T(y)为第一材料层上一点或第二材料层上一点的膜厚, $[1+f(a)] t/t_0$ 为薄膜相对厚度分布,f(a)为引入的额外多项式项。

一种多层膜偏振器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学元件及其制备技术领域,特别是涉及一种多层膜偏振器及其制备方法。

背景技术

[0002] 为实现软X射线光束的高偏振性能、确定入射光的偏振状态、检验出射光的偏振状态,需用偏振元件构成偏振测量装置。根据工作能量不同,需要采用不同的偏振光学元件。但是,在软X射线能区,所有材料的吸收都很强,因此无法用透射方法获得有效起偏。并且任何材料的折射率都接近于1,根据Fresnel公式可知单一界面的反射率很低,所以无法采用单层界面的多次反射方法制成反射式偏振元件。此外,自然界中没有晶格常数与该波段波长相匹配的天然晶体。因此,这一能区的偏振元件需用特殊方法研制。

[0003] 软X射线多层膜可有效地增加非掠入射条件下的反射率,是软X射线能区重要的光学元件。宽能谱带宽的多层膜偏振元件不仅具有高的反射率,同时也能够覆盖大的能谱范围。目前有两种类型的宽带多层膜。一种方法是非周期多层膜,其每一个膜层的厚度不同,在纵向上大体为梯度分布,从而让不同的膜层反射不同波长的入射光,实现带宽扩展。但对于能量更高(波长更短)的软X射线,如400-1000eV的能段,由于多层膜的膜层厚度的限制,无法采用非周期多层膜的方式实现偏振检测,因此,现有技术中存在的偏振测量装置的带宽得到无法得到有效拓展,存在偏振测量效果差、精确度低等问题。

发明内容

[0004] 为解决现有技术存在的上述问题,本发明提供一种多层膜偏振器及其制备方法。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0006] 一种多层膜偏振器,包括:第一材料层和第二材料层;

[0007] 所述第一材料层和所述第二材料层交替设置;所述第一材料层与所述第二材料层的厚度和沿横向梯度递增。

[0008] 优选地,所述第一材料层为 WSi_2 膜层或W膜层。

[0009] 优选地,当所述第一材料层为 WSi_2 膜层时,所述第二材料层为Si膜层;

[0010] 当所述第一材料层为W膜层时,所述第二材料层为 B_4C 膜层。

[0011] 优选地,所述 WSi_2 膜层与所述Si膜层的厚度和的范围为1.5nm-2.03nm。

[0012] 优选地,所述W膜层和所述 B_4C 膜层的厚度和的范围为1.13nm-2.18nm。

[0013] 优选地,所述 WSi_2 膜层与所述Si膜层的厚度和沿横向递增的梯度为0.018nm/mm。

[0014] 优选地,所述W膜层和所述 B_4C 膜层的厚度和沿横向递增的梯度为0.021nm/mm。

[0015] 优选地,所述第一材料层和所述第二材料层的厚度比的范围为0.2~0.8。

[0016] 本发明还提供了一种多层膜偏振器的制备方法,该制备方法包括:

[0017] 采用直流磁控溅射法和时间控制法在基底上交替制备第一材料层和第二材料层,直至第一材料层和第二材料层的周期数满足预设要求,以得到上述提供的多层膜偏振器;

[0018] 所述第一材料层与所述第二材料层的厚度和在制备过程中均沿横向梯度递增。

[0019] 优选地,采用公式 $t = \frac{m_x h^2 (h^2 + r^2 + a^2)}{\rho \pi (h^2 + r^2 + a^2 + 2ar)^{1.5} (h^2 + r^2 + a^2 - 2ar)^{1.5}}$ 确定所述第一材料层的溅射厚度或所述第二材料层的溅射厚度;

[0020] 采用公式 $T(y) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{v_{t_0} [1+f(a)] t/t_0}{v_{sub}(x)} dx$ 确定第一材料层上一点或第二材料层上一点的膜厚;

[0021] 其中,t为溅射厚度, m_x 为溅射材料的摩尔质量,h为靶基距,r为等效刻蚀环半径,a为计算点到基底中心的位置, $a = (x^2 + y^2)^{1/2}$, (x,y)为基底中心的位置坐标, x_1 为第一材料层或第二材料层上一点掠过溅射区的初始位置, x_2 为第一材料层或第二材料层上一点掠过溅射区的结束位置, ρ 为靶材密度, t/t_0 为a=0处的溅射厚度, v_{t_0} 为溅射粒子在零点位置的沉积速率, $v_{sub}(x)$ 为材料层上一点掠过靶时的速率,T(y)为第一材料层上一点或第二材料层上一点的膜厚, $[1+f(a)] t/t_0$ 为薄膜相对厚度分布,f(a)为引入的额外多项式项。

[0022] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0023] 本发明提供的多层膜偏振器,通过在横向上不同位置镀制周期多层膜(即交替设置第一材料层和第二材料层,并使第一材料层与第二材料层的厚度和沿横向梯度递增),以能够在针对不同的工作能点,在使用中只需要平移偏振器,就能拓展偏振器的工作带宽,进而能够实现400-1000eV工作能量连续可调的偏振光学元件,提高偏振检测的效果和精确性。

附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0025] 图1为本发明提供的多层膜偏振器的结构示意图;

[0026] 图2为本发明实施例提供的当掠入射角为45°(准布儒斯特角)时,多层膜偏振器对P偏振光和S偏振光的测试结果图;其中,图2(a)为当掠入射角为45°时,多层膜偏振器对P偏振光的测试结果图,图2(b)为当掠入射角为45°时,多层膜偏振器对S偏振光的测试结果图;

[0027] 图3为本发明实施例提供的掠入射角为45°时,多层膜偏振器的偏振率随能量进行分布的曲线示意图。

具体实施方式

[0028] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0029] 本发明的目的是提供一种多层膜偏振器及其制备方法,能够使偏振器的带宽得到有效拓展,实现能量更高的软X射线的偏振检测,进而提高偏振检测的效果和精确性。

[0030] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0031] 如图1所示,本发明提供的多层膜偏振器,包括:第一材料层H和第二材料层L。

[0032] 第一材料层H和第二材料层L交替设置。第一材料层H与第二材料层L的厚度和沿横向梯度递增。

[0033] 本发明的软X射线横向宽带梯度多层膜偏振器的选材主要有以下几个原则:从光学原理上出发要求材料在设计能段的吸收率尽可能小,且两种材料的折射率差较大,同时要求两种材料不发生相互反应和扩散,物理化学性质稳定,无毒性。因此对应400-1000eV(覆盖Fe、Co、Ni的L吸收边以及“水窗”能段)的能段要求,本发明选取了W/B₄C和WSi₂/Si的膜对。具体的,

[0034] 当第一材料层为WSi₂膜层时,第二材料层为Si膜层。当第一材料层为W膜层时,第二材料层为B₄C膜层。

[0035] 在实际应用设计时,针对不同的材料层,进行周期性设置时,W/B₄C多层膜底层为W,顶层为B₄C,两种材料交替镀制双层结构多层膜得到偏振器。WSi₂/Si多层膜底层为WSi₂,顶层为Si,两种材料交替镀制双层结构多层膜得到偏振器。

[0036] 基于上述提供的多层膜偏振器其主要制备方法,包括:

[0037] 采用直流磁控溅射法和时间控制法在基底上交替制备第一材料层和第二材料层,直至第一材料层和第二材料层的周期数满足预设要求,以得到上述提供的多层膜偏振器。其中,第一材料层的厚度和第二材料层的厚度在制备过程中均沿横向梯度递增。

[0038] 下面列举一个实施例对上述提供的多层膜偏振器及其制备方法的设计原理和实施过程进行详细说明,在实际应用时,不限于该实施例的举例内容。

[0039] 本实施例中,关于多层膜偏振器的制备和实现过程是采用薄膜光学理论的多层膜递推公式编写。利用单纯型优化算法进行优化设计,设计的多层膜偏振元件的参数包括:对应能段所选择的材料、多层膜的周期厚度d、膜层周期数N、厚度比 γ 和掠入射角 θ 。

[0040] 膜层的准布儒斯特角通常在45°入射角附近(软X射线波段材料折射率非常接近于1)。光以45°角入射,多层膜对s光成分和p光成分的反射率可以相差几个数量级,这样便得到想要的偏振光。优化设计时选择好初始条件,同时优化周期厚度d和膜厚比 γ ,确定满足高偏振率和反射率的要求。

[0041] 为兼顾反射率和偏振性能,本实施例分别设计和测量了45°和30°两个入射角度。针对软X射线的400-1000eV能段,分别设计了WSi₂/Si和W/B₄C两种多层膜系。在该实施例中,WSi₂/Si梯度多层膜的周期厚度范围为1.15nm-2.03nm。W/B₄C梯度多层膜的周期厚度范围为1.13nm-2.18nm。

[0042] 例如,采用制得的WSi₂/Si梯度多层膜样品,沿样品的长边方向,在每2.5mm处分别对p偏振和s偏振光进行了测试,掠入射角为45°(准布儒斯特角),R_s(光的S偏振分量的反射率)和R_p(光的P偏振分量的反射率)随波长的变化曲线如图2所示。

[0043] 本实施例采用磁控溅射镀膜技术实现纳米周期多层膜的制备。磁控溅射镀膜技术工艺稳定,重复性好,可以利用时间控制法来控制膜层的厚度。在制备X射线多层膜时,膜层厚度控制误差可以达到0.01nm,在膜层数大于100的情况下,膜系的整体厚度误差小于0.05nm。本实施例通过编写的膜厚修正模板以及掠靶调速方法,修正基片不同位置的沉积

速率,实现横向梯度周期多层膜镀制。 WSi_2/Si 梯度多层膜的厚度梯度为 $0.018\text{nm}/\text{mm}$, $\text{W/B}_4\text{C}$ 梯度多层膜的厚度梯度为 $0.021\text{nm}/\text{mm}$ 。

[0044] 基底上薄膜的面型主要由基底的初始面型和溅射粒子的空间分布所决定。在膜层制备过程中,通常靶枪正上方的粒子密度最大,远离靶枪位置的粒子密度小,沉积薄膜厚度呈现中间厚,边缘变薄的分布。在磁控溅射中,从环形溅射源出来的粒子沉积在固定基底上的厚度分布可以由下面公式给出:

$$[0045] \quad t = \frac{m_x h^2 (h^2 + r^2 + a^2)}{\rho \pi (h^2 + r^2 + a^2 + 2ar)^{1.5} (h^2 + r^2 + a^2 - 2ar)^{1.5}}$$

[0046] 其中, t 为膜层厚度, m_x 为溅射材料质量(摩尔质量), h 为靶基距, r 为等效刻蚀环半径, a 为计算点到基底中心的位置, ρ 为靶材的密度。可以利用相对厚度分布 t/t_0 来描述薄膜厚度分布, t/t_0 为 $a=0$ 处的厚度。在相对厚度分布公式中, m_x 和 ρ 会被消去,其它参数可由实验测量获得。在实际实验过程中,为了更好地描述实际薄膜厚度分布,引入额外多项式项 $f(a)$ 来拟合实验和理论计算之间的差异。因此,最终的薄膜相对厚度分布为 $[1+f(a)]t/t_0$ 。

[0047] 采用直线型镀膜机制备多层膜,设基底运动方向为 X 轴方向,垂直于运动方向且平行靶面的方向为 Y 轴方向,对应于靶中心的位置为零点。当基底以速率 $v_{\text{sub}}(x)$ 掠过靶源时,基底上的某一点 p 的膜厚为:

$$[0048] \quad T(y) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{v_{t_0} [1+f(a)]t/t_0}{v_{\text{sub}}(x)} dx$$

[0049] v_{t_0} 为溅射粒子在零点位置的沉积速率, $v_{\text{sub}}(x)$ 为 p 点掠过靶时的速率, $a=(x^2+y^2)^{1/2}$, x_1 和 x_2 对应 p 点掠过溅射区的初始位置和结束位置。将上式中的 $T(y)$ 等于设计的梯度膜膜厚分布轮廓,即沿 Y 方向线性变小。靶源的屏蔽筒上方的开口大小为 $80\text{mm} \times 72\text{mm}$ 。设 $x_1=-40\text{mm}$,利用计算机可以求出 x_2 值,即掩模板对应的轮廓曲线。本实施例的样品在英国Diamond光源进行了光学性能和偏振性能的测试。

[0050] 应英国Diamond光源新建造的I21非弹性散射实验要求,设计并制备了宽带梯度多层膜,本实例中对应能段 $400-1000\text{eV}$ 设计了 WSi_2/Si 周期多层膜。 WSi_2/Si 梯度多层膜的周期厚度范围为 $1.15\text{nm}-2.03\text{nm}$,厚度梯度为 $0.018\text{nm}/\text{mm}$ 。为兼顾反射率和偏振性能,分别设计和测量了 45° 和 30° 两个入射角度。

[0051] 在准布儒斯特角 45° 下的平均偏振度为 99.38% ,最高偏振率达到 99.77% 。 WSi_2/Si 梯度多层膜在能量 638eV , 30° 入射时,出现最高反射率 4.05% 。实现了工作能量涵盖 Fe 、 Co 、 Ni 材料L吸收边以及“水窗”能段的连续可调的宽带偏振元件。如图3所示,测试为 45° 角, WSi_2/Si 梯度多层膜偏振率随能量分布曲线,没有限制差别,偏振率都接近 99% ,能够满足偏振应用测量要求。在 500eV 的反射率带宽(分辨率)比较测量,由数据拟合得到, WSi_2/Si 的带宽为 4.02 。

[0052] 采用本发明的方法,应英国Diamond光源新建造的I21非弹性散射实验要求,对应能段 $400-1000\text{eV}$,本实例中设计并制备了 $\text{W/B}_4\text{C}$ 梯度多层膜,为兼顾反射率和偏振性能,分别设计和测量了 45° 和 30° 两个入射角度。

[0053] 在准布儒斯特角 45° 下的平均偏振度为 99.55% ,最高偏振率达到 99.71% 。在 30° 角入射的条件下,最高反射率达到了 2.67% 。实现了工作能量涵盖 Fe 、 Co 、 Ni 材料L吸收边以

及“水窗”能段的连续可调的宽带偏振元件。如图3所示,测试为 45° 角,W/B₄C梯度多层膜偏振率随能量分布曲线,没有限制差别,偏振度都接近99%,能够满足偏振应用测量要求。在500eV的反射率带宽(分辨率)比较测量,由数据拟合得到,W/B₄C的带宽为8.45eV。

[0054] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0055] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

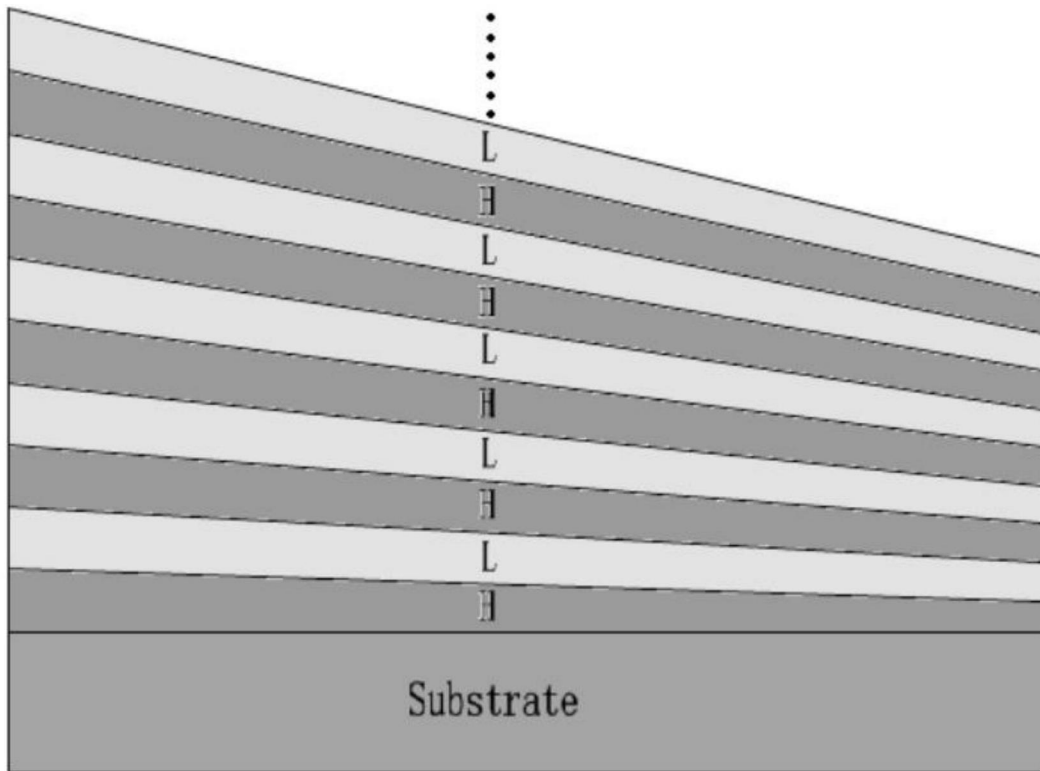


图1

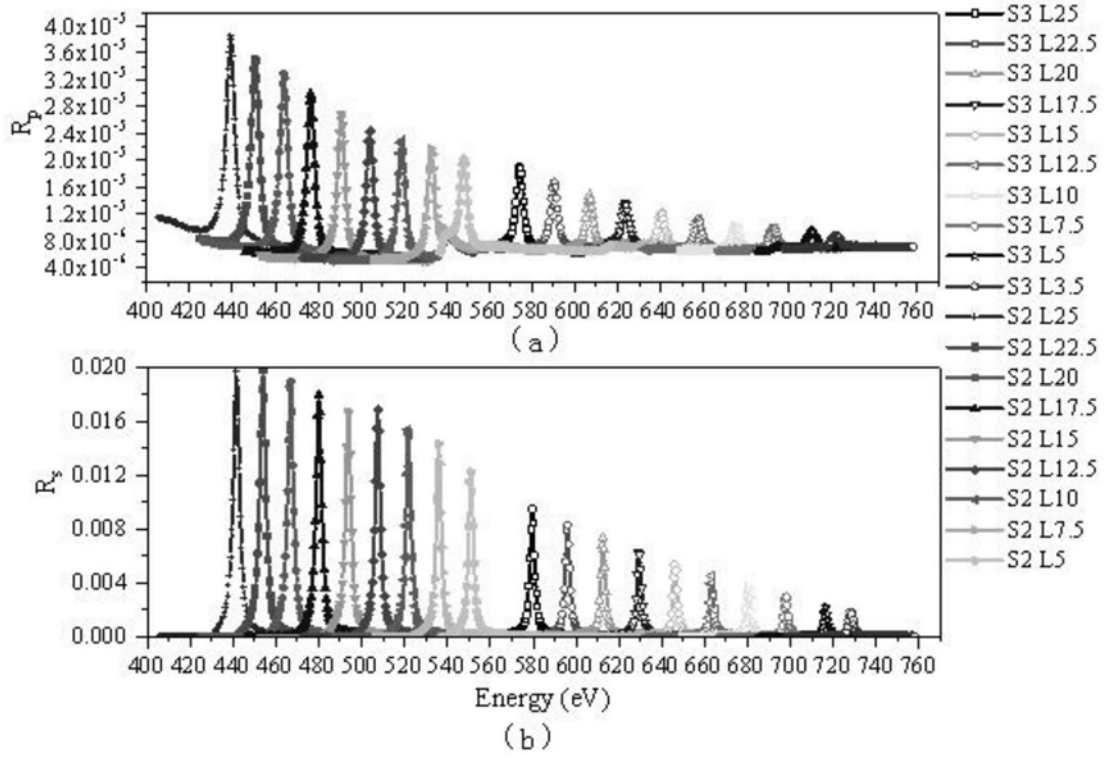


图2

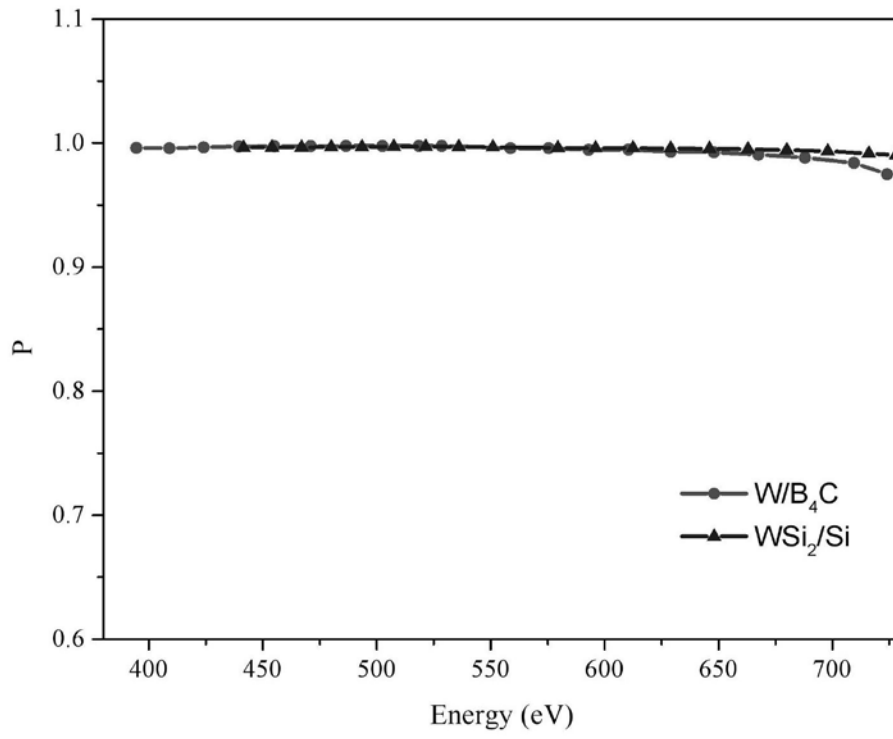


图3