



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107917672 B

(45) 授权公告日 2023. 06. 13

(21) 申请号 201810010125.0

(22) 申请日 2018.01.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107917672 A

(43) 申请公布日 2018.04.17

(73) 专利权人 中国计量大学
地址 310018 浙江省杭州市江干区学源街
258号

(72) 发明人 孟彦龙 檀珺 金尚忠 王玲莉
金国君

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所
(普通合伙) 32249
专利代理师 施利江

(51) Int. Cl.
G01B 11/06 (2006.01)
G01M 11/02 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 107504907 A, 2017.12.22
- JP H11316187 A, 1999.11.16
- CN 103512865 A, 2014.01.15
- US 2012057146 A1, 2012.03.08
- CN 106403830 A, 2017.02.15
- CN 102478389 A, 2012.05.30
- CN 103226007 A, 2013.07.31
- CN 106091954 A, 2016.11.09
- CN 107246844 A, 2017.10.13
- CN 106091953 A, 2016.11.09
- CN 105674899 A, 2016.06.15
- JP 2004061141 A, 2004.02.26

杨秀文. 利用椭圆偏振法测定金属薄膜光学常数的初步研究. 河北大学学报(自然科学版). 1986, (第1期), 第44-53页.

审查员 李宏英

权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法

(57) 摘要

本发明提出了一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法。该方法基于传统的椭圆偏振光谱测试方法,在待测超薄金属样品表面增加由高折射率材料构成的三棱镜,并且该三棱镜靠近金属薄膜的表面镀有低折射率的介质薄膜。测试时将该部件中镀有介质薄膜面与超薄金属薄膜接触,三棱镜另外两个面为光的入射端面 and 出射端面,当三棱镜顶角与椭圆偏振光入射角满足一定条件时,三棱镜内的入射光会在镀有介质薄膜的端面上发生全反射,从而在一定厚度的介质薄膜内形成倏逝波;当波矢满足表面等离子体激发条件时,倏逝波能够激发金属表面的等离子体,提高椭圆偏振光反射光对相位变化的灵敏度,最终提高测试超薄金属厚度时的测试灵敏度。该方法操作简便,避免了传统Otto结构测试需要不断移动三棱镜来寻找合适空隙层的不足,

十分有利于快速测量超薄金属薄膜以及金属薄膜在原子层级的厚度变化。

1. 一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:测试结构由折射率为 n_1 的等腰三棱镜(1),折射率为 n_2 的介质薄膜(2),金属薄膜(3),玻璃基底(4),椭偏仪起偏器端(5)和椭偏仪检偏器端(6)组成,测试时,表面镀有介质薄膜的等腰三棱镜置于金属薄膜之上,调整椭偏仪起偏器端与检偏器端相对于水平面法线的夹角 θ_1 和 θ_2 ,入射光经过等腰三棱镜并在靠近介质薄膜的端面形成全反射后从三棱镜的另外一个面出射,全反射引发的倏逝波与金属表面的等离子体耦合提高光反射后相位变化的灵敏度,反射光被椭偏仪检偏器接收并分析出射光与入射光s偏振与p偏振反射率比值,从而获得金属薄膜的相关信息,具体步骤为:

步骤一. 选用A、B、C三个等腰三棱镜,分别在三个等腰三棱镜上镀制不同厚度的介质薄膜,三组介质薄膜的厚度均不超过 $1\mu\text{m}$,

步骤二. 选用等腰三棱镜A,先选取椭偏仪起偏器的夹角 θ_1 的角度,调节检偏器夹角 θ_2 的角度,使出射光线能够恰好入射到检偏器内并使光信号达到最大,然后选用入射光波长的范围为300nm到1200nm,每隔1nm测一次,得到反射光的偏振角 ψ 和相位移 Δ 随入射光波长变化的曲线,

步骤三. 选取三个不同的偏振光入射角度 θ_1 ,重复步骤二;

步骤四. 选用等腰三棱镜B、C,重复步骤二,步骤三,最终得到反射光的偏振角 ψ 和相位移 Δ 随入射波长,入射角和介质薄膜厚度变化的曲线,拟合 ψ 和 Δ 的变化曲线,得到超薄金属薄膜的厚度和光学常数。

2. 根据权利要求1所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:所述的等腰三棱镜(1)折射率 n_1 不小于1.5。

3. 根据权利要求1所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:所述的等腰三棱镜(1)顶角 α 不大于 45° 。

4. 根据权利要求1所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:所述的介质薄膜(2)折射率 n_2 不大于1.4。

5. 根据权利要求1所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:镀于等腰三棱镜(1)表面的介质薄膜(2)厚度不大于 $1\mu\text{m}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:测试时经由起偏器入射至三棱镜的偏振光入射角 $\theta_1 \geq \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法,其特征在于:从椭偏仪起偏器端(5)发出的入射光束尺寸为 $63\mu\text{m} \times 70\mu\text{m}$ 。

一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法

技术领域

[0001] 本发明提出一种对超薄金属薄膜的测量方法,特别是一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法。

背景技术

[0002] 目前测量薄膜的光学常数和厚度的方法有很多,非光学法主要有探针测量法,利用一个高精度的机械触针在薄膜表面运动来感知薄膜表面的变化,台阶仪运用的就是探针测量法,但探针法只能测量薄膜的厚度。用探针法测量薄膜厚度时需露出薄膜基底,要对薄膜进行二次加工,且探针在薄膜表面移动时对薄膜有一定的损伤。

[0003] 光学方法中可以同时测量薄膜光学参数和厚度的方法主要有光谱法和椭圆偏振法。光谱法的原理是薄膜上光的反射引起双光束或多光束的干涉效应,不同特性的薄膜有着不同的光谱反射率,通过测量薄膜的光谱特性计算得到薄膜的厚度和光学常数。椭圆偏振法的基本原理是利用一束已知偏振态的偏振光与薄膜发生作用,测量其反射光的偏振态,对比光束偏振态的变化分析得到薄膜的光学性质和厚度。椭圆偏振法的优点是反射光的偏振状态的变化对薄膜的厚度变化非常敏感因此有很高的测试灵敏度和精度。薄膜厚度越大,测试精度越高。当薄膜厚度较小,薄膜的折射率与基底折射率相近时,用椭圆偏振仪测得的薄膜的厚度和光学常数与实际相差较大,有较大的偏差,因此,椭圆偏振法测量超薄金属薄膜的精度不够。

[0004] 为此,我们提出一种基于金属表面等离子体振荡的超薄金属薄膜测量方法,通过该方法测量超薄金属薄层可以提高薄膜的测量精度以及原子级厚度变化的灵敏度。金属中存在大量的自由电子,这些自由电子受电场力的作用能在金属中移动。金属或半导体的表面电子行为类似于自由电子气,其表面的表面等离子体元被边界上的外来电场激发产生表面电荷的集体振荡,即表面等离子体元振荡。这种振荡相当于一种在界面传播的波,所以也称为表面等离子体波。表面等离子体波不能与平面电磁波直接耦合,而当光波从光密介质到光疏介质发生全反射时产生倏逝波与表面等离子体波共振耦合。

[0005] 传统Otto结构装置按棱镜,空气,金属的顺序,光从棱镜进入到空气,当入射角大于全反射临界角时发生全反射产生倏逝波与金属表面等离子体波共振耦合。基于Otto结构装置的表面等离子体共振光谱椭圆偏振仪可以用于测量超薄薄膜的光学常数和厚度。通过改变入射光波长,空气间隙的厚度得到由超薄金属薄膜表面等离子体共振引起的反射光的偏振角 ψ 和相位移 Δ 的变化曲线,拟合 ψ 和 Δ 的变化曲线,得到超薄金属薄膜的厚度和光学常数。

[0006] 等腰三棱镜,介质薄膜,超薄金属薄膜可以看作是在玻璃基底上的多层堆叠。入射材料为等腰三棱镜,出射材料为玻璃基底。则有每层的特征矩阵计算如下:

[0007] (1) 在TE波(S极化)下每层的特征矩阵为::

$$[0008] \quad M_a = \begin{bmatrix} \cos(k_0 n z \cos \beta) & -\frac{i}{\sqrt{\varepsilon/\mu} \cos \beta} \sin(k_0 n z \cos \beta) \\ -i \sqrt{\varepsilon/\mu} \cos \beta \sin(k_0 n z \cos \beta) & \cos(k_0 n z \cos \beta) \end{bmatrix}$$

[0009] (2) 在TEM波(P极化)下每层的特征矩阵为:

$$[0010] \quad M_a = \begin{bmatrix} \cos(k_0 n z \cos \beta) & -\frac{i}{\sqrt{\mu/\varepsilon} \cos \beta} \sin(k_0 n z \cos \beta) \\ -i \sqrt{\mu/\varepsilon} \cos \beta \sin(k_0 n z \cos \beta) & \cos(k_0 n z \cos \beta) \end{bmatrix}$$

[0011] 其中 $k_0, n, z, \varepsilon, \mu, \beta$ 分别为波数, 折射率, 厚度介电常数, 磁导率和光与层之间的入射角。重叠层特征矩阵以标准型式计算为:

$$[0012] \quad M = M_1 M_2 \dots M_a = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix}, \text{小标 } 1, 2, 3, \dots, a \text{ 表示由上往下层序数。}$$

$$[0013] \quad \text{TE波的反射比为: } r_s = \frac{(M_{11} + M_{12} \sqrt{\varepsilon_l/\mu_l} \cos \beta_l) \sqrt{\varepsilon_1/\mu_1} \cos \beta_1 - (M_{21} + M_{22} \sqrt{\varepsilon_l/\mu_l} \cos \beta_l)}{(M_{11} + M_{12} \sqrt{\varepsilon_l/\mu_l} \cos \beta_l) \sqrt{\varepsilon_1/\mu_1} \cos \beta_1 + (M_{21} + M_{22} \sqrt{\varepsilon_l/\mu_l} \cos \beta_l)}, \text{TEM波的}$$

$$\text{反射比为: } r_p = \frac{(M_{11} + M_{12} \sqrt{\mu_l/\varepsilon_l} \cos \beta_l) \sqrt{\mu_1/\varepsilon_1} \cos \beta_1 - (M_{21} + M_{22} \sqrt{\mu_l/\varepsilon_l} \cos \beta_l)}{(M_{11} + M_{12} \sqrt{\mu_l/\varepsilon_l} \cos \beta_l) \sqrt{\mu_1/\varepsilon_1} \cos \beta_1 + (M_{21} + M_{22} \sqrt{\mu_l/\varepsilon_l} \cos \beta_l)}, \text{其中 } \varepsilon_1, \varepsilon_l \text{ 和 } \mu_1, \mu_l \text{ 分别为}$$

入射材料和出射材料的介电常数和磁导率。则复合折射率 $\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan \psi e^{i\Delta}$ 。

[0014] 专利CN106403830A也曾提出在传统Otto结构的棱镜和待测金属薄膜之间增加一个凸透镜, 利用凸透镜的曲率边缘实现对空气间隙的控制, 以此提高对超薄金属薄层测试灵敏度, 该方法虽然容易实现, 但是该方法的缺点是在测试过程中需要通过不断的移动寻找合适位置进行测试, 且空气间隙的厚度难以通过实验精准测得。

发明内容

[0015] 本发明提出了一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法, 在等腰三棱镜上镀制介质薄膜, 通过选取一定厚度介质薄膜, 激发金属表面等离子体共振, 实现对超薄金属薄膜光学常数和厚度相关数据的测量。其特点在于镀有一定厚度介质薄膜的三棱镜来测量可以避免位置调节寻找合适等离子体激发厚度的缺点, 该方法操作简便, 不会影响后面测量数据的准确性。

[0016] 本发明的技术方案是:

[0017] 一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的测试方法。其特征在于: 所述的测试结构由椭偏仪起偏器端, 折射率为 n_1 的等腰三棱镜, 折射率为 n_2 的介质薄膜, 金属薄膜, 玻璃基底和椭偏仪检偏器端组成。测试时, 表面镀有介质薄膜的等腰三棱镜置于金属薄膜之上, 调整椭偏仪起偏器端与检偏器端相对于水平面法线的夹角 θ_1 和 θ_2 。入射光经过等腰三棱镜并在靠近介质薄膜的端面形成全反射后从三棱镜的另外一个面出射, 全反射引发的倏逝波与金属表面的等离子体耦合提高光反射后相位变化的灵敏度, 反射光被椭偏仪检偏器接收并

分析出射光与入射光s偏振与p偏振反射率比值,从而获得金属薄膜的相关信息,所述的一种用于提高超薄金属薄膜测试灵敏度的方法包括下列步骤:。具体方法包括下列步骤:

[0018] 步骤一.选用A、B、C三个等腰三棱镜,分别在三个等腰三棱镜上镀制不同厚度的介质薄膜,三组介质薄膜的厚度均不超过1 μ m。

[0019] 步骤二.选用上述等腰三棱镜A,先选取椭偏仪起偏器的夹角 θ_1 的角度,调节检偏器夹角 θ_2 的角度,使出射光线能够恰好入射到检偏器内并使光信号达到最大。然后选用入射光波长的范围为300nm到1200nm,每隔1nm测一次,得到反射光的偏振角 ψ 和相位移 Δ 随入射光波长变化的曲线。

[0020] 步骤三.选取三个不同的偏振光入射角度 θ_1 ,重复步骤(2)。

[0021] 步骤四.选用上述等腰三棱镜B、C,重复步骤(2),(3),最终得到反射光的偏振角 ψ 和相位移 Δ 随入射波长,入射角和介质薄膜厚度变化的曲线。拟合 ψ 和 Δ 的变化曲线,得到超薄金属薄膜的厚度和光学常数。

[0022] 所述的等腰三棱镜折射率 n_1 不小于1.5。

[0023] 所述的等腰三棱镜顶角 α 不大于45°

[0024] 所述的介质薄膜折射率 n_2 不大于1.4。

[0025] 所述的镀于等腰三棱镜表面的介质薄膜厚度不大于1 μ m。

[0026] 所述的测试时经由起偏器入射三棱镜的偏振光入射角 $\theta_1 \geq \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$ 。

[0027] 所述的从椭偏仪起偏器端发出的入射光束尺寸为63 μ m \times 70 μ m。

[0028] 本发明的有益效果是:测量装置稳定,操作方便,测量精度高,对超薄金属薄膜无破坏性。

附图说明

[0029] 图1为该测试方法使用的结构示意图。

具体实施方式

[0030] 以下将结合附图所示以及具体实施方式对本发明进行详细描述。

[0031] 如图1所示,图1为实现该发明后的测试结构示意图。由图1可知,该测试结构由折射率为1.5168的BK7玻璃等腰三棱镜(1),折射率为1.38的MgF₂介质薄膜(2),金属薄膜(3),玻璃基底(4),椭偏仪起偏器端(5)和椭偏仪检偏器端(6)组成。

[0032] 一种用于提高超薄金属薄层测试灵敏度的方法,该方法步骤如下:

[0033] (1) 选用A、B、C三个等腰三棱镜,分别在三个等腰三棱镜上镀制厚度为100nm,200nm,400nm的MgF₂介质薄膜

[0034] (2) 选用上述等腰三棱镜A,先选取椭偏仪起偏器的夹角 θ_1 为66°,调节检偏器夹角 θ_2 的角度,使出射光线能够恰好入射到检偏器内并使光信号达到最大。然后选用入射光波长的范围为300nm到1200nm,每隔1nm测一次,得到反射光的偏振角 ψ 和相位移 Δ 随入射光波长变化的曲线。

[0035] (3) 选取三个不同的偏振光入射角度 θ_1 分别为70°,74°,78°,重复步骤(2)。

[0036] (4) 选用上述等腰三棱镜B、C,重复步骤(2),(3),最终得到反射光的偏振角 ψ 和相

位移 Δ 随入射波长, 入射角和介质薄膜厚度变化的曲线。拟合 ψ 和 Δ 的变化曲线, 得到超薄金属薄膜的厚度和光学常数。

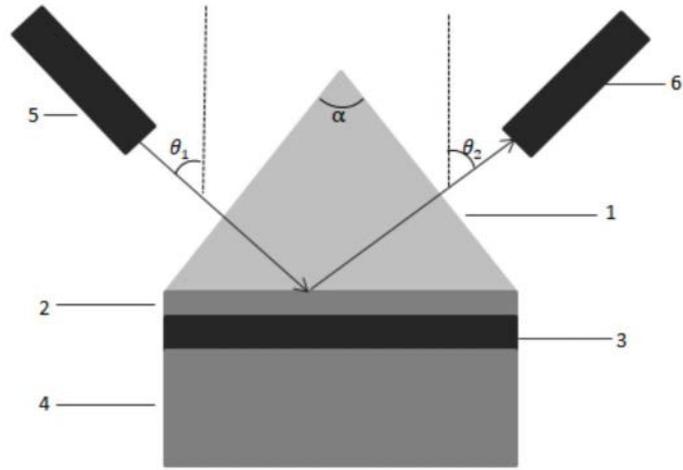


图1