

文章编号 : 0253-2239(2001)06-0673-03

Cu/Ti 超晶格薄膜的强紫外反射性能研究

罗佳慧 李 燕 杨成韬

(电子科技大学信息材料工程学院, 成都 610054)

摘要: 采用直流磁控溅射方法制备了一维二组元 Cu/Ti 周期超晶格金属薄膜, 研究了基片温度、膜周期数、基片取向与紫外反射的关系。当基片加热温度为 470 °C 时, 在硅(100)晶面上生长的 30 层 Cu/Ti 膜, 层间膜厚控制在 1:3、膜总厚度控制为 300 nm 时, 所制备的超晶格薄膜在 5° 入射角下对 200nm 的紫外光, 其反射率可高达 90%。

关键词: 磁控溅射; Cu/Ti 超晶格膜; 紫外光; 反射率

中图分类号: O484.4+1 文献标识码: A

1 引 言

反射镜是航空航天、卫星导航与姿态调整、精确定位系统、激光通信等系统中的重要光学器件。但在软 X 射线和极紫外波段, 几乎所有材料的折射率都近似等于 1, 据此垂直入射的反射率都很小, 在此波段的透射或反射都难于应用。近年来, 基于干涉或衍射效应, 国外采用金属超晶格技术研制出的短波光学器件在反射镜上得到了初步应用, 如 Smith^[1]报道的应用在卫星望远镜上的金属多层膜对极紫外进行的采集等。

迄今为止研究报道的超晶格金属膜多集中在基础性方面^[2,3], 对材料 Mo/Si、Ru/Si、Rh/Si、Nb/Cu、Ta/Al、Te/Si^[4,5]等进行的反射性能研究, 其紫外反射率也一般在 60%。因此, 制约了这些膜的应用。

本文报道采用直流磁控溅射法制备的 30 层 Cu/Ti 周期超晶格膜在 200 nm 的极紫外辐射下具有 90% 以上的高反射率。

2 实验方法

使用从德国进口的 VANGUARD 型磁控溅射设备制膜, 该设备的溅射系统由计算机控制, 可精确设置和控制成膜的速率及厚度。设备有 4 个溅射靶, 靶的尺寸为 $\phi 200$ mm, 基片到靶之间的距离为 80 mm。该设备的成膜系统如图 1 所示。实验选择高纯金属 Ti、Cu 作为靶材, 抛光的(111)面和(100)面单晶 Si 作为基片。基片按成膜的常规方法进行清洗后放在可旋转的基片加热器台面上。对真空室抽

真空至 5.0×10^{-3} Pa, 然后充入溅射气体 Ar(溅射气体流量为 $60\text{cm}^3/\text{s}$), 在溅射功率 300 W 下定积 Cu 和 Ti。为了使膜的附着力更好, 首先在基片上淀积厚度为 100 nm 的 Ti 膜。为了获得高的反射率, 按重金属和轻金属的层厚之比为 1:3 的比例交替淀积两种金属。

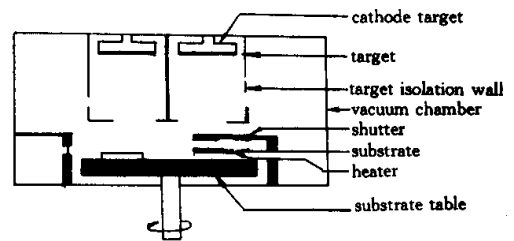


Fig. 1 DC magnetron sputtering deposition system used to fabricate Cu/Ti films

根据一维二组元周期超晶格模型, 所选择的 Cu/Ti 超晶格膜结构如图 2 所示。各层膜厚度的设计依据是, 一般在真空紫外和远紫外波段多层膜的组分波长与材料的折射率和膜厚满足关系式

$$n_1 d_1 + n_2 d_2 = \lambda/2,$$

因为 $n_{\text{Cu}}, n_{\text{Ti}}$ 是材料的特性参数, 为使工作波长 λ 尽

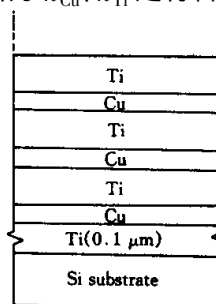


Fig. 2 Periodic superlattice of one-dimensional and two-component Cu/Ti

可能地进入短波, 选取 d_{Cu} 尽可能小。经在 VANGARD 设备上实验, 得到能准确控制的最小膜厚为 2.7 nm, 故设定 $d_{Cu} = 2.7$ nm、 $d_{Ti} = 8.1$ nm、 $d_{Cu}/d_{Ti} = 1:3$ 。

实验利用从日本进口的 X 型分光光度计测试 Cu/Ti 超晶格金属膜的紫外反射率, 入射角为 5° (西南物理研究所测试)。用 X 射线衍射 (电子科技大学测试) 和透射电镜 (北京大学测试) 对 Cu/Ti 超晶格金属膜进行了微观结构分析。

3 实验结果与讨论

3.1 基片取向对 Cu/Ti 超晶格膜反射率的影响

以相同的制备工艺条件(基温 470 °C、周期数 30)分别在 Si(100) 和 Si(111) 基片上制备了 Cu/Ti 超晶格金属薄膜, 发现二者对紫外光的反射率差别很大如图 3 所示。在波长小于 300 nm 的波段, Si(100) 单晶上制备的 Cu/Ti 超晶格薄膜的反射率大于 60%, 而且随着波长的减小反射率剧增, 在 200 nm 处高达 90%。但在 Si(111) 上制备的超晶格膜反射率最高不超过 25%, 且随着波长的减小反射率降低。由于测试所用分光光度计短波方向仅能测至 200 nm, 故未能按预期设计得到更短波长的反射率, 进一步的测试正在准备之中。

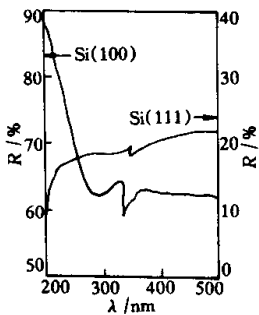


Fig.3 Reflectivity of Cu/Ti superlattice films on Si(100) and Si(111) substrate

3.2 周期数对超晶格膜反射性能的影响

在相同的制备工艺和相同的组分波长下, 又沉积了不同周期的 Cu/Ti 超晶格金属膜。图 4 显示了在入射光为 220 nm、Si(100) 基片未加温时 Cu/Ti 超晶格膜的反射率和周期数的关系。从图中可以发现, 随着周期数的增加, 多层膜的反射率增大, 但当周期大于 30 以后, 反射率的变化不大。所以对 Cu/Ti 超晶格金属膜, 当周期为 30, 就能得到比较高的反射率, 这与 Nb/Si 需要周期数达到 42、Mo/Si 达到 37 才能有比较高的反射率是不一样的。

3.3 基片温度对 Cu/Ti 超晶格膜反射率的影响

在固定其它工艺参数不变的情况下, 研究了基片温度对反射性能的影响, 结果如图 5 所示。从图中可以看出, 在 Si(111) 片上, 基片加热温度为 470 °C 制备的 Cu/Ti 金属膜的反射率明显高于其它温度下制备的薄膜。显然, 基片温度是影响超晶格薄膜结构和性能的重要参数, 因为基片温度直接与溅射后到达基片表面粒子的能量有关。过高的基片温度虽然有利与薄膜的晶化和取向, 但层间的扩散加剧, 无序缺陷增多, 过低的基片温度不能使膜完全晶化和保持结构的完整性, 这些都直接影响到超晶格膜的紫外反射性质。

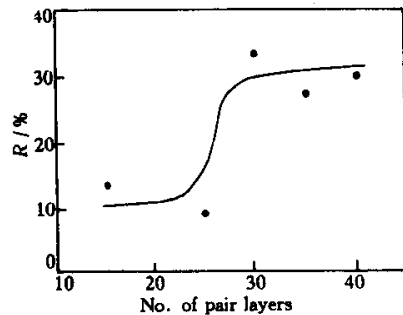


Fig.4 Relationship between the reflectivity and the number of pair layers

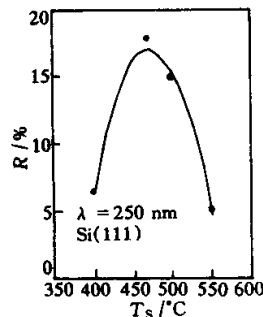


Fig.5 Relationship between the reflectivity and substrate temperature

3.4 Cu/Ti 超晶格膜的组成和结构

图 6 是基片温度分别为 470 °C 和室温、周期为 30 的 Cu/Ti 超晶格膜的 X 射线衍射对比图。显然 470 °C 下沉积的 Cu/Ti 超晶格膜, 衍射峰尖锐光细, 说明超晶格膜结构完整。从 X 射线衍射图还看出样品中除了含有 Cu、Ti 外, 还含有少量的 CuTi、Cu₃Ti 金属间化合物。这可能是因为在高温下 Cu、Ti 层间粒子有一定程度的互扩散所致。

图 7 是上述两个样品的透射电镜图, 前者能观察到明显的多层膜的层结构, 后者无明显层结构。测试结果的详细研究还在进行中, 见后续报道。

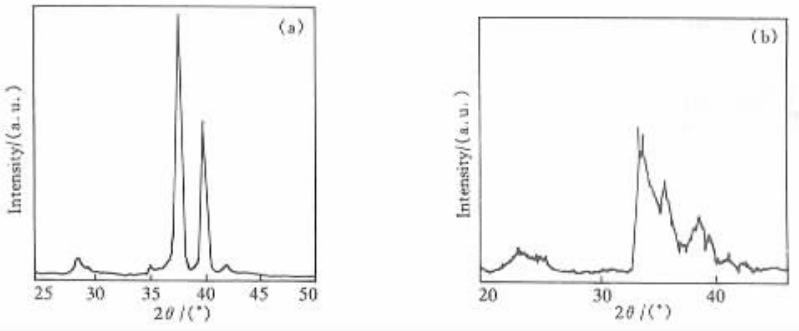


Fig.6 X-ray diffraction profiles of Cu/Ti superlattice. (a) T_s is 470 °C ; (b) T_s = room temperature

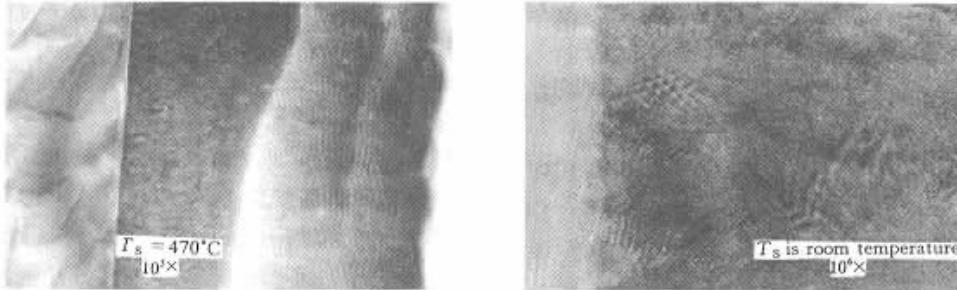


Fig.7 TEM profiles of Cu/Ti superlattice

总之,用直流磁控溅射法成功地制备了 Cu/Ti 超晶格金属膜,该膜对紫外光有比较高的反射率,但该反射率与膜的周期数、制备条件、基片温度和基片取向有关。当周期数为 30、基片温度为 470 °C、在 Si (100) 基片上制备的 Cu/Ti 超晶格金属膜结晶性好,对紫外光的反射率较高,且随波长的减小反射率增加,当波长为 200 nm 时,反射率高于 90%。

参 考 文 献

[1] Smith B W , Bloch J J , Roussel-Dupre D. Metal multilayer

mirrors for EUV wide field telescopes. *Proc. SPIE* , 1989 , **1160** :171 ~ 175

[2] Zhang Xingkui , Xia Hua , Cheng Guangxu *et al.* . Raman scattering by acoustic phonons in fibonacci Nb-Cu metallic superlattices. *Phys. Lett. (A)* , 1989 , **136** (6) 312 ~ 316

[3] Peng R W , Hu A , Jing S S *et al.* . Structural characterization of three-component Fibonacci Ta/Al multilayer films. *Phys. Rev. (B)* , 1992 , **46** (12) :7816 ~ 7820

[4] Peng R W , Hu A , Jiang S S. Study on quasiperiodic Ta/Al multilayer films by X-ray diffraction. *Appl. Phys. Lett.* , 1991 , **59** (20) 2512 ~ 2514

[5] 胡安 蒋树声. Fibonacci 序列和 Fibonacci 金属超晶格. *物理学进展* , 1993 , **13** (1 2) 229 ~ 241

Strong UV Reflecting Characteristics of Cu/Ti Superlattice Films

Luo Jiahui Li Yan Yang Chengtao

(Institute of Information materials and Engineering , University of Electronic Science and Technology of China , Chengdu 610054)

(Received 19 November 1999 ; revised 10 April 2000)

Abstract : One-dimensional and two-component Cu/Ti superlattice films have been deposited by DC magnetron sputtering. The influences of substrate temperature , periodic number and substrate structure on UV-reflectivity of Cu/Ti superlattice films are studied. The films fabricated at 470 °C substrate temperature , on Si (100) substrate and with 30 pair layers have a high UV-reflectivity of about 90% at 200 nm and 5° from normal incidence.

Key words : magnetron sputtering ; Cu/Ti superlattice film ; UV-light ; reflectivity