

Effect of Target-to-Substrate Distance and Sputtering Angle on Property of Cu and Fe Films

Shan-shan Zhang¹, Hai Wang², Hong-wei Jiang

Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048, China Email: ¹tigerzss1204@163.com,²wanghai@mail.cnu.edu.cn

Abstract: Cu and Fe monolarys were prepared by dc magnetron sputtering on glass substraters with changing the target-to-substrate distance d and the sputtering angle β . Texture and grain size of samples were affected by changing d and β which were revealed by X-ray diffraction. Magnetic hysteresis loops examined by a vibration sample magnetometer (VSM) showed that texture and grain size would affect its magnetic.

Keywords: target-to-substrate; sputtering angle; grain size; magnetic

靶基间距和溅射角度对 Cu、Fe 单层膜性质的响

张珊珊¹, 王 海², 姜宏伟

首都师范大学物理系,北京,中国 100048 Email:¹tigerzss1204@163.com,²wanghai@mail.cnu.edu.cn

摘 要:采用磁控溅射系统,通过改变靶基间距 d 和溅射角度 β 的方法,在玻璃基片上分别制备了 Cu、 Fe 单层膜。X 射线衍射(XRD)表明薄膜的生长织构、晶粒尺寸都会受其影响随之变化。振动样品磁强 计(VSM)表明薄膜的生长取向、晶粒尺寸的变化会导致磁性的变化。

关键词: 靶基间距; 溅射角度; 晶粒尺寸; 磁性

1. 引言

材料的微结构决定材料的性能,而制备工艺又影 响着材料的微结构。为了获得优良的薄膜,必须弄清 制备工艺、微结构和材料性能之间的关系。影响微结 构的因素主要有厚度、成份、晶粒尺寸、织构等。 Gomathi Natarajan 等人发现改变靶基间距 *d* 对 CuCl 薄膜的结构和性能会有所影响^[1]。Xiaobai Chen 等人利 用斜溅射的方法在玻璃基片上生长 Cu 薄膜,分析发 现斜溅射会导致 Cu 薄膜的柱状晶发生倾斜^[2]。后来他 们又在 SiO₂/Si(100) 基片上生长了不同成分的 Ni_xFe_{100-x}薄膜,分析得出 Ni_xFe_{100-x}薄膜的生长织构, 柱状晶的生长方向以及薄膜的磁性都会受到影响发生 变化^[3]。H.C.Jiang 和 W.L.Zhang 等人又利用将基片倾 斜的斜溅射方法制备了 TbFe 薄膜,得出生长织构和 磁性都会有所改变^[4]。

本文主要研究通过改变靶基间距*d*和溅射角度β, 影响非磁性材料 Cu 和磁性材料 Fe 单层膜的生长织构 和晶粒尺寸,和对磁性材料 Fe 磁性的影响。

2. 实验



Fig1. Icon of sputtering angle

图 1. 溅射角度图示

采用 JGP600 型超高真空直流磁控溅射系统制备 Cu、Fe 单层膜。本底真空优于 3.0×10⁻⁵Pa, 溅射氩气 压为 0.3 Pa。薄膜沉积在玻璃基片上,基板水冷。(1) 靶 基间距 *d* 在 30mm-80mm 之间,每隔 12.5mm 均匀变 化,正溅射制备 Cu、Fe 单层膜。采用相同沉的积速 率,约为 1.0Å/s,制得薄膜的厚度也相同,约为 100nm。

基金项目:北京市留学人员科技活动项目择优资助经费;北京市教 委科技基金资助项目(KM201010028004)



(2)在 *d*=80mm 的情况下,采用相同的溅射功率,改变 溅射角度 β,制备 Fe 单层膜,取 β=-34°,-20°,-7°, 0°, 7°, 20°, 34°,如图 1 所示。

样品的微结构和晶粒尺寸采用德国 BRUKER 公司生产的 X 射线衍射仪(XRD)来测定。样品的磁性 采用美国 ADE 公司生产的高灵敏振动样品磁强计 (VSM)进行测量。

3. 结果与讨论

3.1 靶基间距 d 对 Cu、Fe 单层膜的影响

为了研究靶基间距对薄膜的微结构的影响,测量 了在 *d*=30mm、42.5mm、55mm、67.5mm、80mm 时, Cu、Fe 两种体系样品的 X 射线衍射图谱。其中图 2(a) 中 20=43.44°处是面心立方 Cu 的(111)峰,是 Cu 的易 生长取向,20=50.8°处是面心立方 Cu 的(200)峰。

从图中得出,(111)和(200)峰的峰位随靶基间距 *d* 的变化,几乎没有变化。(111)峰强在 *d*=55mm 处取得 最大值,随着 *d* 的增大(200)峰逐渐消失。

根据 Cu 体系的 XRD 图谱分析可得到样品







Cu(111)的衍射峰位及半峰宽,利用晶粒尺寸的计算公式:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\Delta 2\theta \cos \theta}$$

(其中, Δ20 是 Cu(111)的半峰宽, λ 是 X 射线波 长,其波长为 0.15406nm) 计算得出 Cu 体系的晶粒尺 寸 D 随 d 的变化,如图 2(b)所示,从图中可得出在 d=55mm 处, Cu 的晶粒尺寸最大,约为 0.372nm。因 此对于 Cu 来说,最适合的靶基间距 d 应为 55mm,其 原因就是晶粒尺寸越大,晶界散射的影响就会减小。



Fig 3. Change of (a) XRD pattern ,(b) intensity of (200)and (110)peak and (c) half peak width $\Delta 2\theta$ (circal) and grain size D (dot) of Fe films with *d*

图 3 Fe 单层膜 (a) XRD 图 (b) (200)与(110)的峰强比(c)半峰宽
Δ2θ (圆圈) 和晶粒尺寸 D (圆点)随 d 的变化

图 3(a)是 Fe 单层膜在不同的靶基间距下测得的 XRD 织构图。其中 20=44.91°处是 Fe 单层膜的(110) 峰, 20=65.30°处是 Fe 的(200)峰。靶基间距从 30mm 变化到 80mm 的过程中, Fe 的(110)和(200)的峰位几 乎没有变化,(110)峰强在不断增强,相反(200)峰强则 在不断减弱。从图 3(b)中很明显得出了(200)与(110) 的峰强比,在 *d*=80mm 处 I(200)/I(110) 的比值最小, 说明此时(110)织构最好。

根据 Cu 体系计算晶粒尺寸的方法,同样可以得 出 Fe 单层膜的半峰宽 Δ2θ 和晶粒尺寸 D 随 d 的变化 关系,如图 3(c)所示。很明显在 d=55mm 处 Fe 的晶粒 尺寸最大,大约为 2.67Å。但是由于在 d=55mm 处, (200)峰与(110)峰的比值较小,这样会影响不同材料的 薄膜之间的生长取向,例如 Fe/Cu 周期膜。在选取 Fe 做缓冲层时,对其上生长的薄膜的易生长取向会有影 响,因此,在实验中一般都会采用 d=80mm,作为溅 射时的靶基间距。

为了研究靶基间距 d 对磁性材料磁性的影响,测量了 Fe 单层膜的磁滞回线随 d 的变化情况,如图 4 所示。图 4 中的小插图是矫顽力 H_c随 d 的变化曲线。 很明显,在增大靶基间距的情况下,Fe 的矫顽力 H_c 在也在增加,d=30mm 处,H_c=87.584Oe,当 d 增大到 55mm 处,H_c=137.334Oe,d=80mm 处,H_c=140.806Oe。 在 d 从 30mm 变化到 55mm 时,H_c的变化很明显,然 而在 d=55mm 到 d=80mm 时,H_c几乎不变,趋于饱和。 同样在靶基间距 d 从 30mm 增大到 80mm 时,Fe 的剩 余磁化强度 Mr 从 4.828⁻³emu 减小到 2.573⁻³emu,磁矩 更容易反转。

3.2 溅射角度 β 对 Fe 单层膜的影响



Fig 4. Change of M/M_s and H_c of Fe films with d



为了研究溅射角度对 Fe 薄膜的影响,采用 XRD 测量其生长织构,如图 5 所示, *L* 是指薄膜的厚度。

由图示可知在相同的溅射功率下, β 的绝对值越大, 薄膜生长的厚度越小, 在 $β=\pm 34$ °时, 厚度相对较小, 即在这种情况下薄膜的溅射速率相对最小。根据晶粒 尺寸大小的计算方法可得出, 在 $β=\pm 34$ °时,薄膜的晶 粒尺寸最小。由此可得出不同的溅射角度对 Fe 单层膜 的生长的微结构会有所影响。



Fig 5. Change of XRD pattern of Fe films with β

图 5. Fe 单层膜 XRD 图谱随溅射角度 β 的变化

为了研究溅射角度对 Fe 磁性的影响,采用 VSM 进行了磁性测量,如图 6 所示。



图 6 Fe 单层膜的 M/M。随溅射角度β的变化。

从图中可以看到,改变β对 Fe 薄膜的矫顽力 H_c 几乎没有影响,饱和磁场 H_s≈4 kOe,也没有变化。β 在从-34°变化到 34°的过程中,磁矩的反转磁场在不断 增大。这是由于生长织构和晶粒尺寸发生变化所引起 的。

4. 结论

采用磁控溅射的方法,通过改变靶基间距 d 和溅



射角度 β 的方法制备了 Cu、Fe 单层膜,观察到样品 的生长织构、晶粒尺寸都会随之发生变化。并且 Fe 单层膜的磁性也受到影响。从而得出在制备不同需要 的薄膜时,选取适当的靶基间距和溅射角度。

5. 致谢

感谢北京市留学人员科技活动项目择优资助经 费和北京市教委科技基金资助项目的支持。

References (参考文献)

- [1] Gomathi Natarajan, et al. [J]. Thin Solid Films, 2008, 516:5531-5535.
- [2] Hong Qiu, Fengping Wang, Ping Wu, et al. [J]. Vacuum, 2002, 66:447-452.
- [3] Xiaobai Chen, Hong Qiu, Hao Qian, et al. [J]. Vacuum, 2002, 75:217-223.
- [4] H.C.Jiang, W.L.Zhang, B.Peng, et al. [J]. IEEE Transactions On Magnetics, 2005, 41:4.