

文章编号: 1001-4322(2008)03-0413-06

膜厚对直流磁控溅射 Nb 薄膜微结构的影响*

林华平^{1,2}, 吴卫东², 何智兵², 许华², 李俊², 王锋^{1,3},
李盛印^{1,3}, 张宝玲^{1,3}, 宋萍^{1,2}, 江玲¹, 谌家军¹, 唐永建²(1. 西华师范大学 物理与电子信息学院, 四川 南充 637002; 2. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900;
3. 四川大学 原子分子物理研究所, 成都 610065)

摘要: 采用直流磁控溅射方法制备膜厚为 50, 100, 200, 400, 600 nm 的 Nb 薄膜, 对薄膜的沉积速率、表面形貌、晶体结构进行了研究, 并对其应力和择优取向进行了详细的分析。原子力显微镜图像显示 Nb 膜表面光滑、致密, 均方根粗糙度达到 0.1 nm 量级。X 射线小角衍射给出了薄膜的晶格结构、晶粒尺寸和应力情况。分析表明薄膜为多晶体心立方结构(bcc), 在(110)晶面方向存在明显的择优取向, 且随着薄膜厚度增大而增强。Nb 膜应力先随薄膜厚度增大而增大, 在 200 nm 时达到最大值(为 1.015 1 GPa), 后随薄膜厚度的增大有所减小。

关键词: ICF 靶; 直流磁控溅射; Nb 膜; 择优取向; 体心立方**中图分类号:** O484.5 **文献标识码:** A

在激光惯性约束聚变(ICF)物理实验靶中, 铌(Nb)和金钷组成的复合膜和多层柱腔有很高的辐射不透明度^[1], 它可以改善黑腔性能, 增强产生软 X 射线的辐射。Nb 的微结构和内应力对多层柱腔的成型与加工有重要影响, 过大的内应力及不合适的微结构将直接导致多层柱腔的破损。近年来, 国内外对不同 ICF 靶材结构开展了一系列的研究, 吴卫东等人利用脉冲激光沉积法(PLD)制备钴纳米薄膜, 研究了衬底温度对薄膜择优取向生长的影响, 利用直流磁控溅射制备了 Ti 膜, 分析了溅射功率对薄膜应力的影响等^[2-3]。

迄今为止薄膜的制备方法很多, 主要有热蒸发^[4]、电子束蒸发^[5]、脉冲激光沉积^[6]和磁控溅射^[3]等。同其它方法相比, 磁控溅射具有轰击粒子能量高、制备的薄膜致密性和均匀性好、便于大面积成膜等优点, 被广泛应用于薄膜制备。由于 ICF 实验对靶金属薄膜的制备提出了很高的要求, 表面均方根粗糙度最大峰-谷值需达 nm 量级^[7]。为满足制靶的需要, 本文利用直流磁控溅射技术, 成功制备了应力较小、表面光滑(均方根粗糙度达到 0.1 nm 量级)、具有高择优取向度的 Nb 薄膜, 考察了薄膜厚度的变化对晶体结构、表面形貌和择优取向的影响, 为制备高质量的 ICF 物理实验靶提供参考。

1 实验方法

本工作采用超高真空多功能磁控溅射镀膜设备制备 Nb 膜。实验用的溅射纯 Nb 靶质量分数为 99.99%, 溅射气体采用体积分数为 99.999% 的高纯氩气。衬底使用单面抛光硅片, 清洗干净后, 放入主真空室中进行镀膜。具体的实验参数如表 1 所示。

表 1 Nb 成膜实验条件

Table 1 Deposition conditions of Nb films

background pressure/Pa	sputtering power/W	target-substrate distance/mm	substrate temperature/K	deposition rate /($\text{nm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1×10^{-6}	60	180	≈ 293	≈ 0.141
Ar ₂ flow(standard condition)/($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	Ar ₂ partial pressure/ Pa	target diameter /mm	sputtering time/s	sputtering thickness/nm
15	0.2	75	355~4 258	50.3~615.5

* 收稿日期: 2007-11-29; 修订日期: 2008-03-10

基金项目: 国家高技术发展计划项目

作者简介: 林华平(1982—), 男, 四川南充人, 硕士生, 主要从事薄膜材料光电性能研究; csrx1056@163.com。

联系作者: 吴卫东, 研究员, 主要从事薄膜物理研究; wuweidongding@163.com。

本实验中,采用台阶仪测试薄膜厚度;用 PHILIPS XPert Pro MPD X 射线衍射仪测试晶体结构;用 Veeco Wyko NT1100 型白光干涉仪(wyko)和 Digital Instruments Nanoscope IIIa 原子力显微镜(AFM)观察表面形貌。

2 结果与讨论

2.1 薄膜厚度与溅射时间的关系

由于直流磁控溅射过程中薄膜的沉积速率稳定,这样就可以采用不同的沉积时间来控制薄膜厚度。保持其它参数不变,只改变溅射时间,时间控制为 355~4 258 s,制备的 Nb 薄膜厚度分别为 50.3, 98.5, 200.8, 402.9, 615.5 nm。图 1 给出了薄膜厚度与溅射时间的关系,从图中可以看出,薄膜厚度随溅射时间增加成线性关系,表明薄膜的制备具有良好的可控性。

2.2 薄膜厚度对 Nb 薄膜表面形貌的影响

图 2 示出了样品的 AFM($5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$)和 wyko($1.2\ \text{mm} \times 0.9\ \text{mm}$)3 维立体图,从图中可以看出,薄膜表面非常平滑,颗粒排布均匀。图中 R_a 为薄膜的算术平均粗糙度, R_q 为均方根粗糙度。随着薄膜厚度的增加,膜面的低凹部和凸出部起伏变大,薄膜的均方根粗糙度增大,各样品中最大均方根粗糙度为 0.701 nm。图 3 示出了均方根粗糙度随膜厚增加的变化趋势,从图中可以看出,随着薄膜厚度的增加,Nb 膜表面均方根粗糙度逐渐增大。进一步的分析可知,薄膜厚度增加促使衬底温度上升,引起晶粒尺寸变大和原子表面扩散能力增强。晶粒尺寸变大导致均方根粗糙度上升;原子表面扩散加剧,促进薄膜表面质量的提高。因此在整个成膜过程中薄膜表面均方根粗糙度的变化是晶粒尺寸变大和原子扩散加剧两种因素竞争的结果,导致均方根粗糙度随薄膜厚度的增加而增加但增幅不大, R_q 粗糙度仍在 0.1 nm 量级(AFM)。

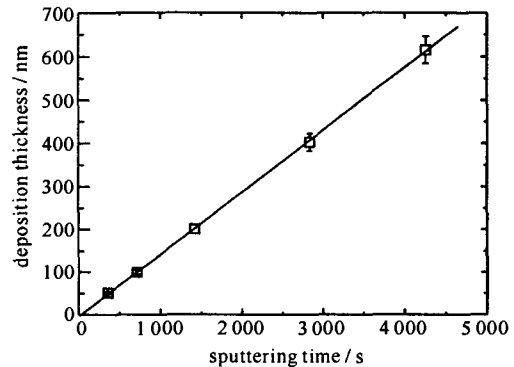


Fig. 1 Deposition thickness as a function of sputtering time

图 1 薄膜沉积厚度随溅射时间变化关系

图 2 示出了样品的 AFM($5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$)和 wyko($1.2\ \text{mm} \times 0.9\ \text{mm}$)3 维立体图,从图中可以看出,薄膜表面非常平滑,颗粒排布均匀。图中 R_a 为薄膜的算术平均粗糙度, R_q 为均方根粗糙度。随着薄膜厚度的增加,膜面的低凹部和凸出部起伏变大,薄膜的均方根粗糙度增大,各样品中最大均方根粗糙度为 0.701 nm。图 3 示出了均方根粗糙度随膜厚增加的变化趋势,从图中可以看出,随着薄膜厚度的增加,Nb 膜表面均方根粗糙度逐渐增大。进一步的分析可知,薄膜厚度增加促使衬底温度上升,引起晶粒尺寸变大和原子表面扩散能力增强。晶粒尺寸变大导致均方根粗糙度上升;原子表面扩散加剧,促进薄膜表面质量的提高。因此在整个成膜过程中薄膜表面均方根粗糙度的变化是晶粒尺寸变大和原子扩散加剧两种因素竞争的结果,导致均方根粗糙度随薄膜厚度的增加而增加但增幅不大, R_q 粗糙度仍在 0.1 nm 量级(AFM)。

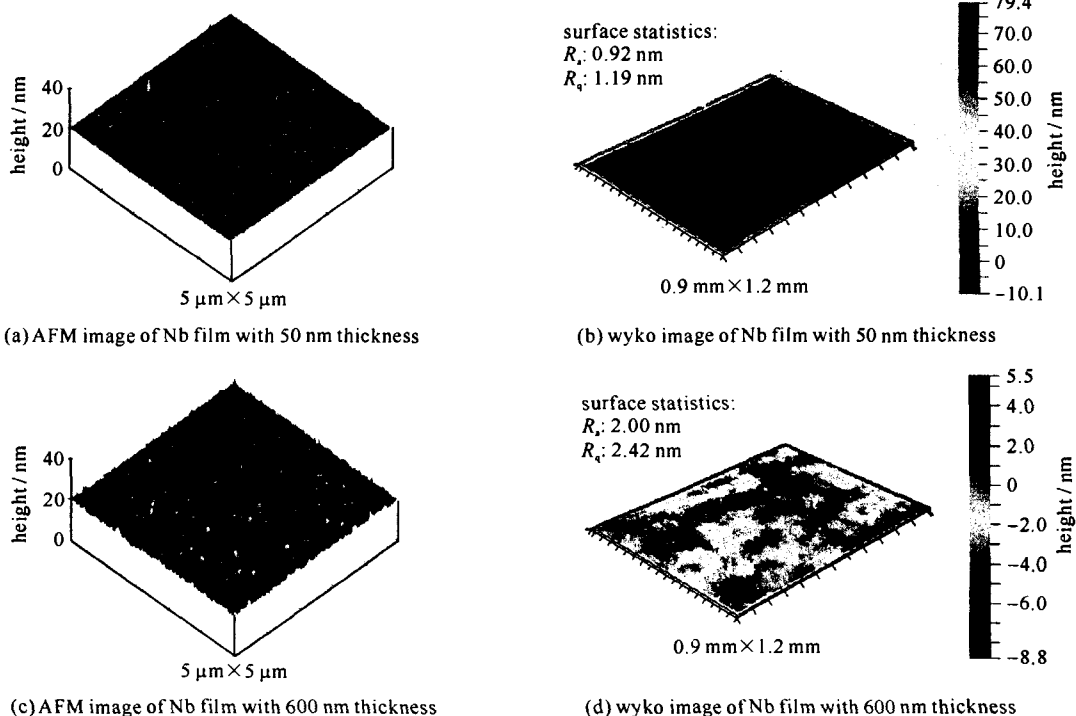


Fig. 2 AFM and wyko images of Nb films with different deposition thicknesses

图 2 不同厚度的 Nb 薄膜的 AFM 和 wyko 图像

2.3 Nb 薄膜的微观结构和应力分析

XRD 可获得样品的晶体结构^[2]、晶粒大小^[8]和内应力^[3]等方面的信息。图 4 为样品的 XRD 谱图,根据图

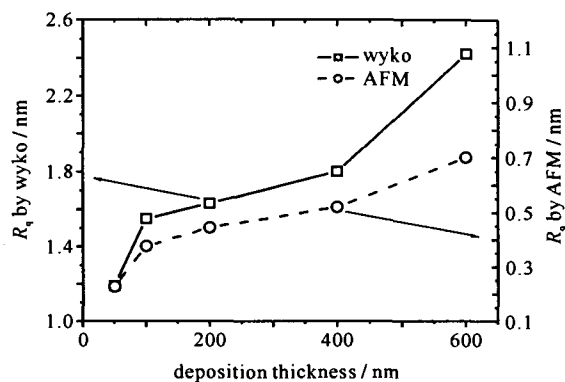


Fig. 3 RMS roughness curve of Nb films as a function of thickness

图 3 Nb 膜均方根粗糙度随薄膜厚度变化的关系

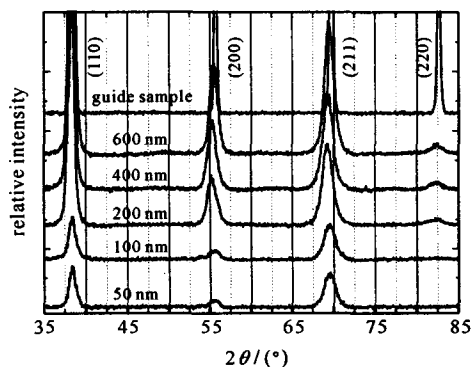


Fig. 4 XRD spectra of Nb films with different deposition thicknesses

图 4 不同厚度的 Nb 膜的 XRD 谱

中衍射峰的峰位与标准衍射峰(PDF)卡片可以判断,本实验中制备的 Nb 薄膜晶型为多晶体心立方(bcc)结构,薄膜的生长具有明显的择优取向。在 38.5° , 55.6° , 69.7° 和 82.5° 衍射角(2θ)附近出现明锐的衍射峰,分别对应于(110), (200), (211)和(220)晶面,相对于标准样品的峰位有明显漂移,这表明薄膜中存在内应力^[9]。半高宽(FWHM)的减小表明:随着薄膜厚度的增加,薄膜晶粒尺寸逐渐增大。

2.3.1 薄膜的平均晶粒尺寸

通常 X 衍射轮廓线与晶粒的大小、畸变及实验仪器有关。XRD 衍射峰的展宽包含了仪器展宽和物理展宽两个方面的因素。如果直接使用 XRD 的衍射结果必然引入一定的误差,所以必须从测量的宽度中扣除仪器的宽度,得到晶粒细化和微观应变引起的真实加宽。这种线性加宽效应不是简单的机械叠加,而是它们宽化函数的卷积。根据标准样品得到随衍射角变化的半高宽曲线,并以该曲线所表示的半高宽作为仪器展宽。解卷积计算公式如下

$$W_s^D = W_{FWHM}^D - W_i^D \quad (1)$$

式中: D 为反卷积参数; W_{FWHM} 表示半高宽修正曲线; W_s 表示样品物理展宽值; W_i 表示仪器展宽值。采用霍尔方法^[10],选择相同晶面方向的衍射面(晶粒尺寸与晶面指数相关),以 $(\sin\theta)/\lambda$ 为横坐标,以 $(W_s \cos\theta)/\lambda - (\sin\theta)/\lambda$ 为纵坐标,用最小二乘法作直线拟合,直线在纵坐标上的截距即为晶粒尺寸的倒数。

从图 5 可以看出薄膜平均晶粒尺寸随膜厚增加的变化情况。在溅射镀膜过程中,随着溅射时间的延长,衬底温度在不断升高,升温的原因可能是高能 Ar 原子注入薄膜中或快电子轰击衬底^[11-12]而产生热效应;衬底温度上升,原子动能增加,跨越形核势垒几率增多,晶粒随着原子充分迁移扩散逐渐长大。

2.3.2 应力分析

测量薄膜应力采用 $\sin\psi$ 法(ψ 为薄膜法线和衍射晶面法线间的夹角)。当应力作用于薄膜时,其晶格将发生畸变,从而晶格常数也变化,通过测量晶格的畸变,也就能计算出薄膜应力的大小。X 射线衍射法实际测量的是薄膜的应变,根据 Bragg 衍射公式和薄膜应力公式

$$2d\sin\theta = \lambda \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{E}{2\gamma}\epsilon = \frac{E}{2\gamma} \frac{d_0 - d}{d} = \frac{E}{4\gamma} \Delta 2\theta \cot\theta \quad (3)$$

可以算出薄膜的晶面间距 d 和应力 σ 。式中: E , γ , d_0 分别是薄膜材料的杨氏模量、泊松比和晶面间距(对于 Nb, $E \approx 110$ GPa, $\gamma = 0.40$ ^[13], 标准样品(110)面 $d_0 = 2.33782$), ϵ 为薄膜的应变, σ 的正负分别对应张应力和压应力^[14]。

按照式(2)、式(3)并根据(110)晶面的衍射角 2θ 、FWHM 和晶面间距 d ,可以得到相应的应力 σ ,应力值为负,表明薄膜中产生压应力。图 5 曲线给出了应力 σ 的绝对值随膜厚增加的变化关系,分析结果表明:薄膜厚

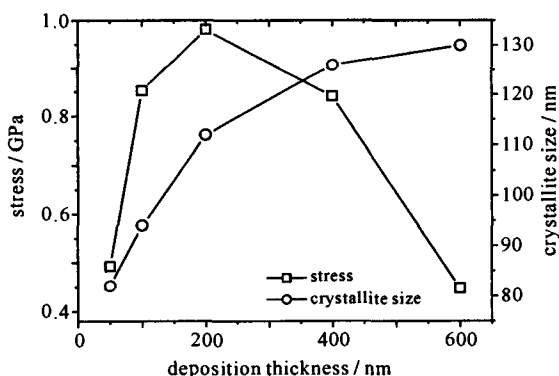


Fig. 5 Crystallite size and stress curves of Nb films as functions of thicknesses

图 5 不同厚度的 Nb 膜的晶粒尺寸和应力大小关系曲线

度小于 200 nm 时,应力随着薄膜厚度增加不断增大;在 200 nm 时,应力值最大(0.983 2 GP);薄膜厚度大于 200 nm 时,应力随着薄膜厚度增加而减小。

Nb 膜内应力随薄膜厚度的变化规律与磁控溅射镀膜的薄膜生长机理相关。溅射过程中 Ar^+ 离子轰击靶材,使靶源的中性原子被轰出,这些原子通过输运,在衬底上凝聚成核,形成薄膜并生长。等离子体中原子具有较大动能,到达衬底的原子同衬底上原子不断地发生碰撞,通过动量转移,衬底上的原子会不可避免地向膜面方向弹回,引起晶粒间挤压和形变加剧,产生“钉扎效应”(pinning effect)^[15]。薄膜较薄时,薄膜中原子易于调整,应力容易弛豫。随着溅射时间延长,薄膜厚度增加,促使整个薄膜应力累积,虽然溅射沉积促进到达衬底的原子有较高的表面迁移率^[16],但不能完全消除靶材原子与基底的碰撞作用,以至于相对于衬底产生一个持续的压力。应力得不到弛豫释放而增加,宏观上表现出更大的应力。当溅射时间的继续延长,薄膜厚度超过 200 nm 时,衬底温度进一步上升,当超过某一温度阈值后,就产生了相当于退火的热处理过程,沉积在衬底上的原子获得更高迁移能量,表面扩散能力增强,晶粒长大,晶界密度减小,薄膜内应力得到释放。本实验制备的样品中,薄膜厚度为 600 nm 时,应力达到最小值 0.447 6 GP。

2.4 Nb 薄膜的择优取向分析

采用晶面(hkl)的织构系数(C 值)来表征不同厚度样品各衍射晶面择优取向^[17]。

$$C_{(hkl)} = \frac{I_{(hkl)} / I_{0(hkl)}}{\sum_{i=1}^n I_{(hkl)} / I_{0(hkl)}} \times 100\% \quad (5)$$

式中: $I_{(hkl)}$, $I_{0(hkl)}$ 分别为样品和标准样品(hkl)晶面的衍射强度; n 为计算时所取的晶面数。

图 6 示出了样品各晶面的织构系数。从图中可以看出,Nb 薄膜沿(110)晶面择优取向生长,择优取向随着薄膜厚度增大而增强。影响薄膜择优取向生长主要有两方面的原因:第一、从晶体学的角度看,晶体表面能在各晶面上是不一致的,导致在生长过程中各晶面方向薄膜的沉积速率和晶核的成核能力不同。(200),(221)和(220)晶面是松排面,表面能较高^[18],溅射过程中原子容易被表面能高的表面吸引凝聚^[19],表现为松排面上薄膜沉积速率快,单位时间到达的原子数目多,沉积在衬底上的原子没有足够的时间进行迁移。在生长过程中,沿松排面方向生长的晶核容易遇到其它的晶核,凝结核的生长拓展空间受到限制,生长被抑制,晶面逐渐缩小^[20-21]。

(110)晶面是最密排面,表面能最低,生长速度缓慢。在下一批溅射原子到达之前,沉积在最密排面上的原子有足够时间进行迁移,(110)晶面生长的晶核遇到其它晶面晶核以前能够充分长大,从而形成了沿(110)晶面择优取向生长。第二、随着溅射时间延长,衬底温度升高。衬底温度的升高会直接影响衬底表面吸附原子的迁移、再蒸发和结晶。表面成核速率和成核密度随着衬底温度的升高而缓慢增加,这使得凝结核有较大的生长拓展空间,表面吸附的原子可进行相当距离的扩散,有助于薄膜取向性的改善^[22], (110)晶面的织构系数从 0.285 增至 0.562。实验表明,直流磁控溅射法制备 Nb 薄膜时,适当增加薄膜厚度,能有效地促使 Nb 薄膜沿(110)晶面择优取向生长,最终得到高质量的(110)晶面择优取向 Nb 薄膜。

3 结 论

采用直流磁控溅射方法成功地制备了应力较小、表面粗糙度小的 Nb 薄膜。研究了薄膜厚度的变化对 Nb 薄膜表面形貌、晶体结构和择优取向的影响。研究表明:Nb 薄膜具有多晶体心立方结构(bcc),薄膜表面非常平整,颗粒排布致密而光滑,均方根粗糙度达到 0.1 nm 量级。薄膜厚度的改变对 Nb 薄膜表面质量、晶体结构和择优取向均有不同程度的影响。随着薄膜厚度的增加,薄膜平均晶粒尺寸增大;应力先随薄膜厚度增加而增大,在 200 nm 时达到最大值(为 0.983 2 GPa),后随薄膜厚度的增加有所减小;薄膜沿(110)晶面择优取向生长,择优取向随着薄膜厚度增加而增强。

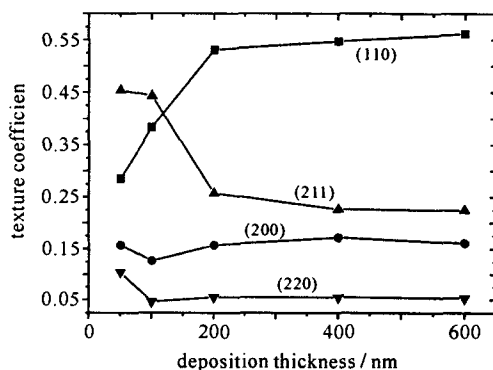


Fig. 6 Texture coefficients of various crystallographic planes

图 6 样品各晶面的织构系数

参考文献:

- [1] 许华,何智兵,张继成,等.直流磁控溅射法制备金钎层膜[J].中国材料科技与设备,2006,3(11):61-62.(Xu H, He Z B, Zhang J C, et al. The fabrication of Au/Gd multilayer films by the DC magnetron sputtering. *Chinese Materials Science Technology and Equipment*, 2006, 3(11):61-62)
- [2] 张超,吴卫东,程新路,等.钴纳米薄膜的脉冲激光法制备[J].强激光与粒子束,2004,16(4):449-452.(Zhang C, Wu W D, Cheng X L, et al. Fabrication of cobalt nano-thin film by pulsed laser deposition technology. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, 16(4):449-452)
- [3] 程丙勋,吴卫东,何智兵,等.溅射功率对直流磁控溅射 Ti 膜结构的影响[J].强激光与粒子束,2006,18(6):961-964.(Cheng B X, Wu W D, He Z B, et al. Effects of sputtering power on the structure and properties of Titanium films deposited by DC magnetron sputtering. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(6):961-964)
- [4] Mabuchi T, Watanabe H, Onaka R. Surface phonons of NaF and LiF films[J]. *J Phys Soc Jpn*, 1987, 56(6):2124-2135.
- [5] Soma F, Monterrali R M, Santucci S, et al. Structural and optical properties of alkali halide multilayer LiF,NaF films[J]. *J Vac Sci Technol A*, 1997, 15(3):1750-1754.
- [6] 吴卫东,许华,魏胜,等.脉冲激光气相沉积技术及其在 ICF 薄膜靶制备中的应用[J].强激光与粒子束,2002,14(6):873-878.(Wu W D, Xu H, Wei S, et al. Pulse laser vapor deposition technology and its application in fabrication of the ICF film-targets. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, 14(6):873-878)
- [7] Evans A M, Freeman N J, Graham P, et al. Hugoniot EOS measurements at Mbar pressures[J]. *Laser and Particle Beams*, 1996, 14(2):113-123.
- [8] 王锋,李俊,李国俊,等.PLD方法制备的纳米 Fe/Al 薄膜的结构及应力分析[J].强激光与粒子束,2005,17(9):1387-1390.(Wang F, Li J, Li G J, et al. Research on structure and micro-distortion of nano Fe/Al films fabricated by pulse laser deposition. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(9):1387-1390)
- [9] 王锋,吴卫东,詹勇军,等.PLD方法制备的超硬非晶碳薄膜研究[J].强激光与粒子束,2007,19(10):1650-1653.(Wang F, Wu W D, Zhan Y J, et al. Superhard amorphous carbon films fabricated by PLD. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(10):1650-1653)
- [10] 常世安,任洪涛,肖玲,等.熔融织构生长强磁浮 YBCO 超导块材的取向和结构[J].中国稀土学报,1998,16(1):18-21.(Chang S A, Ren H T, Xiao L, et al. The orientation and structure of YBCO superconductor disk for the magnetic suspension application. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 1998, 16(1):18-21)
- [11] 李宁,邵红红.射频磁控溅射法制备氮化硼薄膜[J].机械工程材料,2006,30(11):15-17.(Li N, Shao H H. Deposition of BN films by radio frequency magnetron sputtering. *Materials for Mechanical Engineering*, 2006, 30(11):15-17)
- [12] 田民波.薄膜科学与技术[M].北京:清华大学出版社,2006.(Tian M B. Thin film science and technology. Beijing: Tsinghua University Press, 2006)
- [13] 彭志辉.稀有金属材料加工工艺学[M].长沙:中南大学出版社,2003.(Peng Z H. Rare metal material processing technics. Changsha: Central South University Press, 2003)
- [14] 杨于兴,胡庚祥.薄膜 X 射线应力分析技术的研究[J].上海交通大学学报,1994,28(5):52-58.(Yang Y X, Hu G X. The study of thin film X-ray stress analysis. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 1994, 28(5):52-58)
- [15] 田民波,刘德令.薄膜科学与技术手册[M].北京:机械工业出版社,1991.(Tian M B, Liu D L. Manual book of thin film technologies and materials. Beijing: China Machine Press, 1991)
- [16] Freund L B, Suresh S. Thin film materials: stress, defect formation, and surface evolution[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [17] 谢华,罗江山,黎军,等.纳米晶 Cu 薄带的单辊法制备及结构分析[J].强激光与粒子束,2006,18(10):1639-1642.(Xie H, Luo J S, Li J, et al. Nano-crystalline Cu ribbons prepared by single-roll method and its structural analysis. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(10):1639-1642)
- [18] 黄文,曾慧中,张鹰,等.不同晶化工艺对非晶 PZT 纳米薄膜形核取向生长机理的影响[J].物理学报,2005,54(3):1304-1307.(Huang W, Zeng H Z, Zhang Y, et al. Effects on the mechanism of nucleation and orientation of amorphous PZT nano thin film treated by different crystallization technic. *Acta Physica Sinica*, 2005, 54(3):1304-1307)
- [19] 江民红,顾正飞,刘心宇,等.射频磁控溅射法制备(111)取向 Pt 薄膜[J].微细加工技术,2006,2:33-36.(Jiang M H, Gu Z F, Liu X Y, et al. Preparation of (111) orientation preference Pt films by RF magnetron sputtering. *Microfabrication Technology*, 2006, 2:33-36)
- [20] 邢涛,王波,陈轶平,等.磁控反应溅射制备择优取向氮化铝薄膜[J].物理实验,2005,25(12):11-14.(Xing T, Wang B, Chen Y P, et al. Preferential orientation AlN films by RF reactive magnetron sputtering. *Physic Experimentation*, 2005, 25(12):11-14)
- [21] Wang B, Wang M, Wang R Z, et al. The growth of AlN films composed of silkworm-shape grains and the orientation mechanism[J]. *Master Lett*, 2002, 53:367-370.
- [22] 詹勇军,吴卫东,王锋,等.NaF 薄膜的脉冲激光沉积法制备与结构研究[J].强激光与粒子束,2007,19(4):633-637.(Zhan Y J, Wu W D, Wang F, et al. Microstructure and fabrication of NaF film by pulsed laser deposition. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(4):633-637)

Effects of thickness on microstructure and properties of Niobium films deposited by DC magnetron sputtering

LIN Hua-ping^{1,2}, WU Wei-dong², HE Zhi-bing², XU Hua², LI Jun²,
WANG Feng^{2,3}, LI Sheng-yin^{2,3}, ZHANG Bao-ling^{2,3}, SONG Ping^{1,2},
JIANG Ling¹, CHEN Jia-jun¹, TANG Yong-jian²

1. *Department of Physics and Electronic Information, China West Normal University, Nanchong 637002, China;*
2. *Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 919-987, Mianyang 621900, China;*
3. *Institute of Atomic and Molecular, Sichuan University, Chengdu 610065, China)*

Abstract: In this paper, Nb films with different thicknesses were fabricated by DC magnetron sputtering. The deposition rate, surface roughness, crystal structure of Nb films at different sputtering thicknesses were studied, and the RMS roughness of the Nb film was in 1×10^{-1} nm level. The stress and preferred orientation of Nb films were studied. The AFM images showed that the films were compact and smooth. The X-ray diffraction results indicated that Nb films were body-centered cubic structure with a preferred orientation of (110). The stress in the Nb films increased with the increase of the thickness of Nb film and reached a maximum of 1.015 1 GPa when the thickness was 200 nm, after that the stress decreased with the increase of the thickness of the Nb film.

Key words: ICF target; DC magnetron sputtering; Nb film; Preferred orientation; Body-centered cubic structure