

用激光干涉法实时监控同轴磁控溅射ZnO薄膜的厚度

谢克诚

(四川压电与声光技术研究所, 永川)

摘要: 本文介绍了一种在我所生产的TCJ-300型同轴磁控溅射设备上采用激光实时监控ZnO薄膜厚度的方法。实验结果表明, 该方法与其它膜厚监控方法相比较具有多种优点: 它可以在溅射过程中实时显示薄膜的厚度、均匀性和溅射速率等; 本实验装置简单; 操作方便; 其监控精度优于1.5%。

Real-time monitoring the thickness of ZnO film in isoaxis magnetron sputtering using laser interferometry

Xie Kecheng

(Sichuan Institute of Piezoelectric and Acousto-Optic Technology)

Abstract: this paper presents a new method of real-time monitoring the thickness of ZnO film in isoaxis magnetron sputtering device with laser. TCJ-300 type isoaxis magnetron sputter machine is made in our institute. The experimental results show that this method has more advantages than other methods of monitoring film thickness have. It can show the homogeneity and the thickness of the film as well as the sputtering velocity in process of sputtering. The experimental set and its operation are simple. The monitoring accuracy of the thick of film is better than 1.5%.

一、引 言

薄膜的厚度监控技术是薄膜技术的主要内容之一。在同轴磁控溅射大批量薄膜厚度的过程中, 简单、准确、实时地对薄膜厚度进行监控是十分重要的, 这对于器件的制作亦很有帮助。

* * *

作者简介: 李晓东, 男, 1963年2月出生。讲师, 硕士。现从事材料显微组织及性能方面的研究。

尹钟大, 男, 1936年3月出生。副教授, 博士。现从事材料表面改性及超高强度材料方面的研究。

王 铀, 男, 1956年9月出生。讲师, 博士。现从事材料表面改性及磨损机理方面的研究。

收稿日期: 1990年12月18日。

薄膜的厚度监控方法较多^[1]，但对于像同轴磁控那样在溅射过程中基片架要不停地旋转，靶体也要上下运动，这就给膜厚的监控带来了一些困难。我们曾试图采用陪片的办法来对膜厚进行监控，这就需要找出陪片与膜厚的对应关系，这种对应关系很难找准，因此也很难真实反映溅射过程中膜厚的变化情况。我们通过别的途径，在不改动同轴设备的情况下，采用激光直接跟踪基片的方法来监控薄膜的厚度^[2]，并用光纤来传输信号，避免高频对监控系统的干扰，这样就真实地反映了溅射过程中薄膜的厚度变化情况，满足了制作器件所提出的技术要求。

二、基本原理

一束激光射到ZnO薄膜上(如图1所示)时，从上表面反射的光线1和从下表面反射的光线2是相干光线，它们之间存在着一定的光程差：

$$\delta = 2nh \cos\theta + \frac{\lambda}{2} = m\lambda \quad (1)$$

式中， n 、 h 分别为ZnO薄膜的折射率和厚度， θ 、 λ 分别为激光的入射角和波长， m 为干涉周期数。

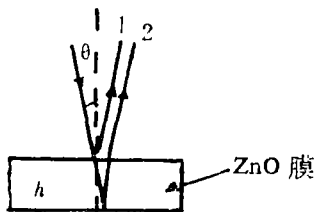


图1 激光射到ZnO薄膜上的光路图

在溅射过程中，当ZnO薄膜的厚度不断增加时，光程差就要发生变化，光线1、2随着也要产生干涉(实验中由于激光入射角很小，光线1、2是重叠的，不用透镜聚焦也能产生干涉)，其干涉光强为：

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2}\cos\varphi \quad (2)$$

式中， I_1 、 I_2 分别为光线1、2的光强， φ 为它们之间的相位差。

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta \quad (3)$$

当 $\delta = m\lambda$ 时，光强为极大值：

$$I_{max} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2 \quad (4)$$

当 $\delta = (m + 1/2)\lambda$ 时，光强为极小值：

$$I_{min} = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2 \quad (5)$$

这样整个溅射过程会出现极大值与极小值的交替的周期变化。如膜厚的变化为 Δh ，干涉周期的变化为 Δm ，则。

$$\Delta h = \frac{\lambda}{2n\cos\theta} \Delta m \quad (6)$$

只要在监控过程中探测从ZnO薄膜反回的光强信号，由记录仪作出变化的周期曲线，就可实时地知道薄膜的厚度、均匀性和溅射速率等。

三、实验装置与结果

图2为实验装置示意图。波长为632.8nm的He-Ne激光束通过一个自制的复合镜，从钟罩的观察窗射到作旋转运动的基片架上，基片架背面开有一个约4mm×10mm的矩形小孔

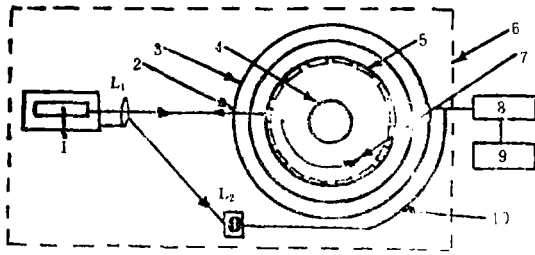


图2 实验装置示意图

1—He-Ne激光 2—观察窗 3—钟罩
4—靶体 5—基片 6—屏蔽室 7—旋转方向
8—光电探测器 9—自动平衡记录仪
10—光纤 L_1, L_2 —复合镜

一次。由于溅射在基片上的厚度在不断增加，那么所探测到的光信号也不断变化。其光强与膜厚的关系曲线如图3所示。

将 λ 、 n 和 $\cos\theta$ 值代入下式

$$\frac{\Delta h}{\Delta m} = \frac{\lambda}{2n\cos\theta} = 159.3 \text{ (nm)} \quad (7)$$

就可得到一个完整周期所对应的膜厚值。

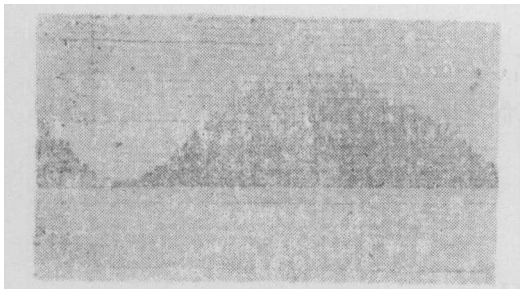


图3 光强与膜厚曲线

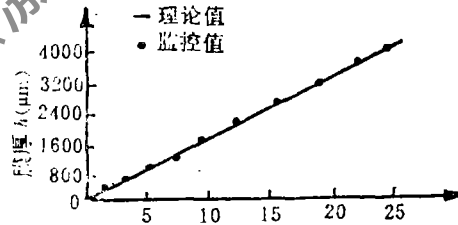


图4 膜厚与干涉周期数曲线

图4示出了膜厚与干涉周期数之间的关系曲线。

在溅射过程中，实时地掌握薄膜的溅射速率和均匀性情况是大家比较关心的问题^[1,2,4]。而本方法可从所探测到的信号了解任一时刻薄膜的溅射速率和均匀性等。

1. 溅射速率情况

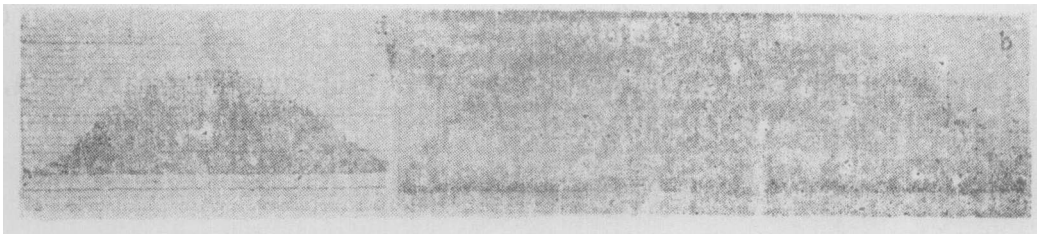


图5 薄膜的溅射速率

a—溅射速率417.3nm/h b—溅射速率187.4nm/h

(孔的位置在一定范围内可任意移动)，光从孔射过玻璃基片进入ZnO薄膜后，再反射回到复合镜，由复合镜再把光反射到光纤探头上，光纤把光信号引出屏蔽室，经光电探测器转换后输入自动平衡记录仪。

为了避免因玻璃基片两表面反射光干涉而干扰膜厚监控信号，应把放置在矩形孔内的监控片加工成稍有楔形，从而使基片两表面反射的光点分开。

在监控过程中，当基片架旋转一周时，激光束扫描一次监控片，从监控片上就反射回一光强信号，从而记录仪就记录

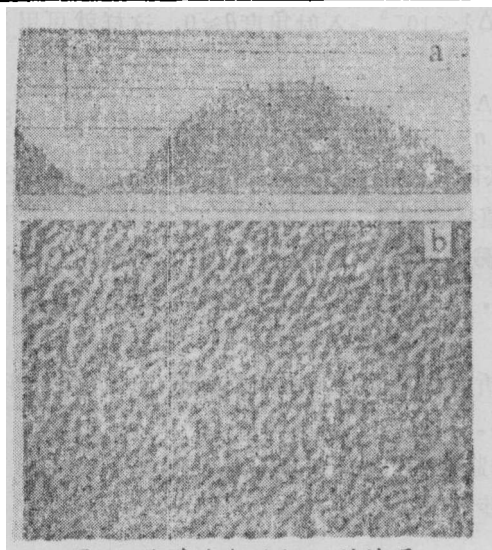


图6 薄膜均匀性较好的情况
a—干涉周期曲线 b—TEM分析结果

图5为反映薄膜的溅射速率照片。

2. 均匀性情况

当溅射的薄膜均匀性较好时,(4)式、(5)式中 I_2 反回的光强较大,干涉后的极大值与极小值曲线分明(如图6a所示);图6b是透射电子显微镜(TEM)分析结果相对应的照片。

当溅射的薄膜(膜厚在几十微米以内)均匀性较差时,(4)式、(5)式中 I_2 就会有一部分被薄膜吸收或散射,致使从 I_2 反回的光强减弱,这时干涉后的极大值与极小值曲线已不分明(如图7a所示);图7b是TEM分析结果相对应的照片。

溅射完后的薄膜,我们再用称重法测量,以作对比参考。表1列出了器件任意要求膜厚的给定值与监控值和称重法测量值的关系。

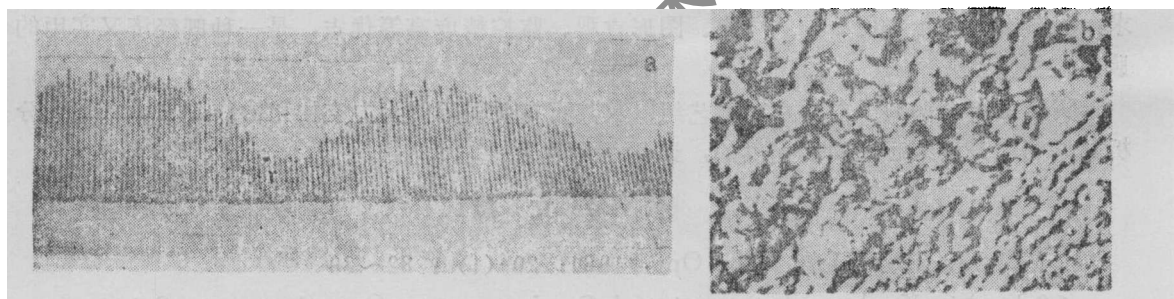


图7 薄膜均匀性较差的情况
a—干涉周期曲线 b—TEM分析结果

表1 给定值与监控值和称重法测量值的关系

给定值 h_0 (nm)	监控值		称重法测量值	
	h_1 (nm)	误差 (%) $(h_1 - h_0)/h_0$	h_2 (nm)	误差 (%) $(h_2 - h_0)/h_0$
500	507	1.4	512	2.4
1000	1014	1.4	1020	2
2000	1975	-1.3	1960	-2
3500	3540	1.1	3560	1.7

四、误差分析

用激光监控ZnO薄膜厚度的相对误差主要来自干涉周期计数和薄膜折射率的误差。对于

激光波长和入射角度引起的误差可不用考虑, 因 $\Delta\lambda \ll 10^{-5}$, 入射角度 $\theta \approx 0$, 这样就可用下式表示:

$$\frac{\Delta h}{h} = \left| \frac{\Delta m}{m} \right| + \left| \frac{\Delta n}{n} \right| \quad (8)$$

第一项我们取 $\Delta m = 0.02$ 是很容易做到的, 实际上适当调整记录仪, Δm 的值比 0.02 还要小。当然在监控极薄的膜厚时, 虽 $\Delta m/m$ 的比值将会增大, 监控精度会受到影响, 但只要在不影响薄膜均匀性的情况下, 适当降低薄膜的溅射速率, 调节记录仪使 Δm 很小也是可行的。如假设膜厚为 100nm, 溅射速率为 600nm/h, 控制过程以 6s 计, 则 $\Delta m = 0.0063$, 那么 $\Delta m/m = 1\%$ 。

第二项我们没有专门精确地测量 ZnO 薄膜的折射率, 而是参照椭圆偏振仪的测量值和资料报道的实验值取 $\Delta n = 0.01$, 那么 $\Delta n/n \approx 0.5\%$ 。

将以上值代入 (8) 式后可以看出, 本方法的监控精度优于 1.5%。

实际上如果膜厚增加, 监控精度还会更进一步提高。

五、结 论

采用激光实时监控同轴磁控溅射 ZnO 薄膜的厚度, 完全可以满足器件所提出的技术要求, 且具有简单、方便、稳定可靠、图形直观、监控精度高等优点, 是一种既经济又实用的膜厚监控方法。

实验工作中得到了本所六室工艺组以及其它有关同志的大力支持和协作, 文中 TEM 分析结果照片是由朱志远同志提供的, 谨此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Macleod H A. Appl Opt, 1981; 20 (1) : 82~89
- [2] Xie Kecheng. International Conference on Optoelectronic Science and Engineering, ICOESE '90, Beijing China, August 1990, Washington USA. SPIE, 1990: 443~444
- [3] Schiller S, Heisig U, Goedicke K. Thin Solid Films, 1978; 54(1): 33
- [4] Van Vouros T. Opt Spectra, 1977; 11: 30

作者简介: 谢克诚, 男, 1953年10月出生。工程师。现从事光学分析等工作。

收稿日期: 1990年12月29日。 收到修改稿日期: 1991年6月3日。

· 产品简讯 ·

高功率二极管激光器

激光二极管公司现在出售一种适用于固态泵浦应用的 5W 连续波二极管激光器。这种 SQWGRINSCH GaAlAs 激光器需要 8A 驱动电流, 光学带宽为 4nm。可买到中心波长在 780nm~812nm 的激光器。也可买到中心波长直到 870nm 的另外型号的激光器。不论是高热负载、真空密封包装, 还是敞开的“L”形部件包装的 LCW-1300 型二极管激光器都可买到。单价起码 6500 美元, 在 6 周~8 周内交货。

译自 L & O, 1991; 10 (8) : 61 邹福清 译 刘建卿 校