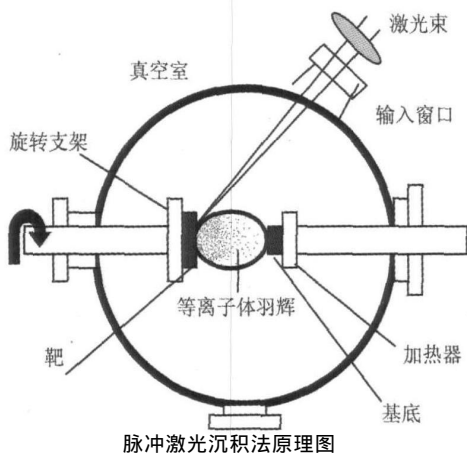


激光技术在薄膜科学中的应用

陈兴 张霆 方尚旭 罗乐

膜的一维尺寸大大小于其余二维。一般把厚度小于 $1\mu\text{m}$ 的膜称为薄膜,反之则称为厚膜。由于薄膜材料具有许多优异性能,因此近年来薄膜科学的发展极为迅速,涌现出许多薄膜制备技术与方法,如真空蒸发沉积、磁控溅射沉积、离子束溅射沉积、金属有机物化学气相沉积和分子束外延等等。虽然这些各具特色的方法在薄膜研究中得到了广泛应用,但是都各具局限性,不能满足薄膜研究和制备的需要,而激光则具有单色性和方向性好、功率密度高等一系列优点。激光沉积薄膜的方法主要分为两类:一类是激光化学反应沉积,如激光化学气相沉积(laser chemical vapor deposition, LCVD);另一类是激光物理沉积,如脉冲激光沉积(pulse laser deposition, PLD)。



脉冲激光沉积法原理图

脉冲激光沉积法是一种先进的薄膜制备技术,具有许多独特优点。其基本原理如图所示,薄膜的沉积过程大致可以分为三个阶段。

第一阶段:激光汽化靶材 脉宽为纳秒或飞秒量级的脉冲激光经透镜聚焦后照射在靶材表面,巨大的功率密度使靶材瞬间汽化、电离转变成等离子体。激光汽化固体靶材的能力和激光的波长、功率密度、靶材对激光的吸收系数、靶材表面的反射系数、靶材密度及汽化潜热有关。一般情况下,激光功率密度越大、靶材对激光的吸收越强,激光汽化靶材的能力也越强。靶材对激光的反射越强、靶材的密度和汽化潜热越大,激光汽化靶材的能力也就越弱。

第二阶段:等离子体羽辉的形成 产生的等离

子体继续吸收激光能量并进一步电离,使温度、压力迅速提高,并在靶材表面的法线方向产生较大的温度和压力梯度,使等离子体沿法线方向在极短时间内向外作等温膨胀(有激光作用时)和绝热(无激光作用时)膨胀,从而在靶材表面的法线方向形成一个细长的等离子体区域,即等离子体羽辉。等离子体羽辉的空间分布形状可以用 $\cos^n\theta$ 描述, θ 为相对于靶材表面法线方向的夹角, n 值一般在 $5\sim 10$ 之间。

第三阶段:薄膜沉积 当等离子体羽辉遇到基底表面时,由于溅射粒子具有较大能量,可越过基底表面位垒、深入表面几个原子层后,逐渐失去能量而沉积于基底表面形成薄膜。

脉冲激光沉积法和传统制膜技术相比具有显著的优势。第一,由于激光器安放在真空室外,因此易于根据需要调节激光参数,控制薄膜生长率。由于不同波长激光沉积出的薄膜特性不同,因此可选择不同激光(如二倍频或三倍频 Nd:YAG 激光、各种准分子激光等)进行沉积,也可选用多种激光联合照射。第二,真空室可配备质谱仪、光谱仪、石英晶体振荡膜厚监测仪等仪器设备,实时监测、分析和调控薄膜的沉积。第三,由于脉冲宽度在纳秒(10^{-9} 秒)或飞秒(10^{-15} 秒)量级,因此可产生极高功率密度,使靶材汽化温度远远高于所含各种元素的沸点,从而使所有元素都机会均等地汽化。同时,通过等离子体发射沿靶材表面法线方向的空间约束效应,可准确控制薄膜的成分结构。因此,脉冲激光沉积过程也被认为是“化学计量”过程。第四,使用范围广,几乎任何可以凝结的物质都能制成靶材,沉积成膜,解决了难熔材料(如钨、钼、硅、碳、硼等及其化合物)的薄膜沉积问题。第五,靶材制作方便,真空室中还可安放多个靶材,因此易于进行多元素掺杂,从而改变薄膜的功能与特性。又由于脉冲激光沉积的过程是一种非平衡态的过程,与其他薄膜沉积过程相比,薄膜中的掺杂量大为提高,更有利于研究元素掺杂对薄膜结构与性能的影响。同时,脉冲激光沉积法还易于制备多层膜以及梯度膜。第六,基底温度低、实验周期短、制备的薄膜质量高。

脉冲激光沉积的思想源于20世纪60年代,

现代物理知识

近场声全息技术方法简介

高

随着科学技术的不断进步和人民生活水平的不断提高,噪声已成为环境和产品评价的一项重要指标,军事、交通运输、航空航天、工程机械等领域如何降低噪声水平也成为一个倍受关注的课题。噪声控制需要从声源控制、传播途径控制和受者保护三方面进行,一般来讲,声源控制是噪声控制中最根本、最有效的手段,而主要声源的定位与识别也是噪声控制工程的关键问题。从声源方面入手控制噪声就是要正确识别和定位声源,获得声源的声辐射特性。近场声全息技术突破了传统上通过测量声源表面振速信息计算声场辐射特性方法的瓶颈,而将声辐射问题转化为逆问题来研究,从而可通过测量部分声场信息重建声源表面信息,根据重建信息预测整个三维声场的辐射特性,开展近场声全息技术研究对噪声和振动控制、声源识别与定位等具有非常重要的意义。

一、全息术与声全息术

20世纪40年代,全息术的概念最早出现于光学,是著名物理学家哈博(D. Gabor)1948年在改进电子显微镜时发明的,最初只限于光学领域。但实际上,前苏联早在1935年就做出了全息图的声学等

效图。1965年,李斯和帕特尼克斯对哈博提出的全息术进行了重要改进,他们让两束相干辐射波的平均传播方向不共线,解决了哈博全息术中存在的孪生像问题,并提出李斯-帕特尼克斯(Leith-Upatnieks)全息术。这种全息照相术的图像记录和显示方式与常规照相术不同:全息照相术记录一个由稳定参考光和被测物体的反射光线之间的干涉图像,通过光的衍射特性显示出被测物体图像;而常规照相术则将图像直接记录在胶片上。显然,常规照相术记录的实际上仍是二维图像信息,其三维效应是人脑想象出来的;而全息照相术通过捕获二维全息面上的信息重建真实的三维图像,因而可提供更多信息,便于更直观地观察、比较被测物体图像和实际物体。1952年,毅森等将全息术思想推广到X射线领域,瑟斯通在1966年又将全息术用于超声波研究。发展到今天,全息术的应用范围越来越广,诸如电子全息术、X射线全息术、光全息术、光电子全息术、微波全息术、声波全息术(包括常规声全息、近场声全息、远场声全息)等,由于全息术应用广阔,可用于进行场重建的非常直观的场研究方法,这些优点吸引了许多研究者。

1965年史密斯等人就开始用红宝石激光沉积法制备薄膜材料,但是由于受激光器性能限制,脉冲激光沉积法并未受到重视。直到1987年,Dijkkamp等人首次利用脉冲 KrF 准分子激光成功制备高质量高温超导薄膜YBCO(Y-Ba-Cu oxide superconductor thin films),才使脉冲激光沉积法得到广泛关注和迅速发展。现在脉冲激光沉积法已用于制备复杂的多组分、多元素氧化物薄膜及其异质结、氮化物薄膜、碳化物薄膜、硅化物薄膜及各种有机物薄膜、有机-无机复合材料薄膜等,也可用于铁电薄膜、磁性薄膜、光电薄膜、非线性波导薄膜、合成纳米晶量子点薄膜的制备。脉冲激光沉积法在高温超导材料的研究中可用于制备YBCO等系列高温超导薄膜;在生物医学研究领域可用于制备生物陶瓷薄膜,提高医用合金材料或高分子材料表面的生物相容性。羟基磷灰石是一种生物活性陶瓷材料,化学成分为 Ca_{10}

$(PO_4)_6(OH)_2$,与生物骨组织中的磷酸钙无机物类似($Ca/P=1.67$),组织细胞在其表面易于生长,具有很好的细胞相容性。但是,羟基磷灰石难以加工成型,利用脉冲激光沉积法把羟基磷灰石沉积在医用金属材料表面可提高其细胞相容性。类金刚石薄膜是一种生物惰性陶瓷材料,硬度很高、摩擦系数很小、化学稳定性和抗腐蚀性强,并有很好的血液相容性和细胞相容性。由于类金刚石薄膜的各种特性与薄膜中的 sp^3/sp^2 比值有关,因此可根据需要调整脉冲激光沉积参数沉积出具有特定功能的类金刚石薄膜,目前生物陶瓷薄膜已广泛用于人工心脏瓣膜、心血管支架、左心室辅助装置、人造心脏、髌关节、膝关节、植入人体的生物传感器和微电子机械系统(microelectromechanical system, MENS)等。

(安徽省合肥工业大学理学院 230009)