

文章编号:1001-5078(2007)02-0155-03

用于铬原子光刻的超高真空原子源的研制

张文涛^{1,2}, 李同保¹

(1. 同济大学物理系, 上海 200092; 2. 桂林电子科技大学电子工程系, 广西 桂林 541004)

摘要:原子光刻技术中,良好原子源的产生是最为基础的条件。针对实验中对原子束的具体要求,设计了一套超高真空原子源产生装置,主要参数为:系统工作真空度优于 5.0×10^{-5} Pa, 铬原子源温度为 1650°C , 铬原子最可几速率为 960m/s , 原子炉口所喷射出的铬原子数为 $N = 1.5 \times 10^{17}\text{s}^{-1}$ 。

关键词:原子光刻; 铬原子源; 超高真空

中图分类号: TN305.7 **文献标识码:** A

Development of Ultra-high Vacuum Chromium Atomic Sources in Atom Lithography

ZHANG Wen-tao^{1,2}, LI Tong-bao¹

(1. Department of physics, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. GuiLin University of Electronic Technology, GuiLin 541004, China)

Abstract: The fine atomic sources is the important factor in atom lithography, a experiment set-up for realization of ultra-high vacuum chromium atomic sources was reported. In our experiment system, the parameters are that vacuum more than 5.0×10^{-5} Pa, temperature of chromium sources is 1650°C , the probable velocity of chromium atom is 960m/s , the numbers of chromium atoms out of oven is $N = 1.5 \times 10^{17}\text{s}^{-1}$.

Key words: atom lithography; chromium atomic sources; ultra-high vacuum

1 引言

随着原子光学的深入发展,对原子光刻技术的研究也越来越成为纳米领域里的热点。原子光刻是一种新颖的纳米级刻印方案,与传统的光学刻印技术相比,原子光刻有着传统光学刻印技术所无法比拟的优点。传统光学领域中的光刻技术在微细图形制作方面一直发挥着重要的作用,可以通过增大光刻物镜的数值孔径 $N.A.$ 和缩短曝光波长来提高光刻系统的分辨率,但是,波长的缩短和物镜数值孔径 $N.A.$ 的增加都将会使得系统的焦深和视场范围缩小,从而影响了工艺因子,使所提供的高分辨率的优

点不能被充分利用,同时还必须去克服焦深缩短所带来的系列问题。基于上述的原因,当光刻图形的尺寸小于 100nm 时,光学光刻面临着很大的挑战。而原子光刻是一种利用激光操纵原子束实现刻印的新方法。其基本原理就是利用共振光的辐射压力(或光抽运作用)使原子束产生空间强度分布,然后使原子沉积在基板上(或使基板上的特殊薄膜层

基金项目:上海市科学技术发展基金项目(No. 0259nm-034)。

作者简介:张文涛(1976-),男,讲师,博士研究生,主要从事原子光刻及光电测量技术研究。

收稿日期:2006-07-10

“曝光”),在基板上形成纳米级条纹、点阵或所需要的特定图案,如图1所示。作为原子光刻中的原子束拥有X射线、电子束及离子束等刻印媒质所不具备的优点:①原子质波波长短(典型值为 0.01nm),因此衍射极限很小;②原子束不携带高能量,对掩膜和基板无破坏作用;③可以并行刻印,缩短刻印时间。原子光刻技术对实验条件的要求十分苛刻,如超高真空的要求、原子束稳定度的要求等。对于原子光刻实验方面的研究,国内外已有很多文献见诸报端,而对其超高真空系统和原子源的相关报道文献还较少。在我们的铬原子光刻实验系统中,为了得到良好的刻印条纹,已经建立了一套超高真空系统和原子源的发射装备,并在此基础上得到了较为理想的铬原子源,为顺利开展具体的光刻研究奠定了良好的基础。

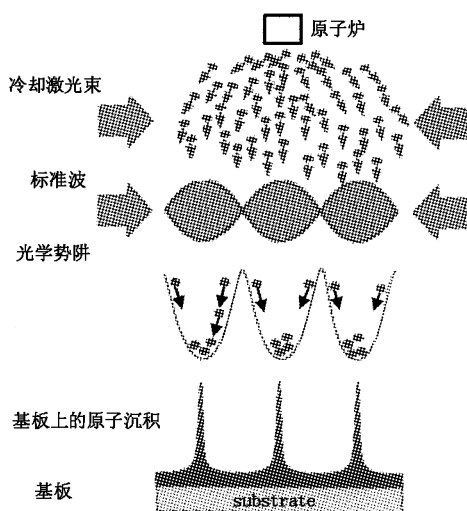


图1 激光汇聚原子沉积纳米光栅结构原理

2 超高真空系统

对于原子光刻技术研究而言,其对实验条件的要求是非常苛刻的,整个实验过程必须在超高真空条件下进行。在超高真空系统的获得过程中,需要满足一定的条件,即:整个原子光刻系统工作腔必须达到超高真空条件,且工作过程中尽量避免工作台的振动。为此,需用两级泵的工作方式,以分子泵作为主泵,以机械泵作为副泵。主泵用来保证光刻系统工作在超高真空条件下,副泵用来排除当系统加热时所产生的额外放气。同时,为了使副泵的运转不会对实验平台产生额外的振动因素,我们将该机械泵安置在远离实验平台的位置。为了在满足上述条件下使系统达到超高真空度的状态,我们采用了

涡轮分子泵及旋片式机械泵组合形成涡轮分子泵机组。涡轮分子泵具有高的运转速度和大的抽运能力,为系统达到超高真空度的要求提供了保障。

为了达到系统所需的超高真空度,我们首先对真空系统进行连续数小时的运行,当真空度达到 $1.2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 后,启动原子炉电源对原子炉进行升温,以此来对系统进行相应烘烤,将相关材料因受热而排出的气体通过分子泵的运转而排到系统之外。图2给出了系统真空度随时间变化的曲线图,实验中每隔20min记录一组数据。从图2中可以看出,在开始阶段,由于系统离子泵的放气,使得系统的真空度逐渐下降,40min左右后,其真空度才逐渐回升,当真空降至 $1.2 \times 10^{-5}\text{Pa}$,由于此时进行了原子炉的加热,腔体材料因受热而有额外气体放出,使得此刻系统真空度再次逐渐下降,而后由于分子泵的连续运转,使得真空度又逐渐回升,此过程不断持续,使得系统的真空度不断提高,约8h左右,真空度达到了 $2.2 \times 10^{-6}\text{Pa}$,满足了实验要求。

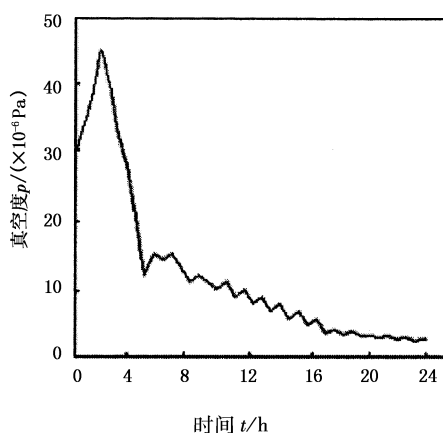


图2 真空度随时间变化曲线

3 原子光刻沉积铬原子源的实现

为了得到稳定速流的高速铬原子束,真空条件下,将纯度为99.99%的铬粉放置于一个精巧的高温炉室中,加温使铬粉升华来产生原子束流。该高温炉室是选用德国CreaTec - Fischer公司生产的HTC-40-10型商用高温铬原子蒸发炉。该原子炉最大加热功率为600W,最高工作温度为 2000°C ,最大加热电流为15A,温度稳定性为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。实验中将铬粉填充入一个由氧化钙稳定的氧化锆陶瓷制成的坩埚中(铬粉填充至坩埚容积的一半),坩埚长72mm、外径为10mm,其端面一端封闭、一端开口。坩埚壁厚约1.6mm,在距开口端10mm处有一浅台

阶,供坩埚盖定位用,坩埚盖中心有一个 $\phi = 1\text{mm}$ 的小孔。坩埚盖安好后,在坩埚内壁与坩埚盖的交界处涂上高温胶,室温下搁置 24h 后将坩埚置于炉室中加热到 1650°C ,此时,坩埚中的原子处于气化状态,原子通过坩埚盖上的小孔以 960m/s 的最可几速率逸出,产生 ^{52}Cr 原子束流,图 3 给出了实验中所获得的原子炉实验功率-温度曲线。从该曲线可以看出,随着温度的升高,原子炉的功率也不断增大。另外,实验中,我们发现坩埚口总是出现堵塞现象,无法获得稳定速流的铬原子束。为此我们进行了深入的分析,发现原子炉口堵塞的原因是炉内坩埚盖的温度低于坩埚内的温度,形成了温度梯度,坩埚内的原子气体不断在坩埚盖内壁沉积导致坩埚口径逐渐减小,最终形成堵塞现象。形成坩埚轴向温度梯度的原因可能是坩埚前端过强的热辐射,为降低这种坩埚轴向温度梯度,一方面在陶瓷坩埚口部以坩埚盖为底填充高温胶形成喇叭口,如图 4 所示。另一方面在原子炉前端加装一片中心通孔直径略小于陶瓷坩埚外径的钽箔防辐射屏。经过这些改进,基本解决了坩埚口的堵塞问题,实现了稳定速流的沉积铬原子源。图 5 为当原子炉温度为 1650°C 时坩埚口的状况,从中可以看出该条件下大量的铬原子从炉口喷射出来。

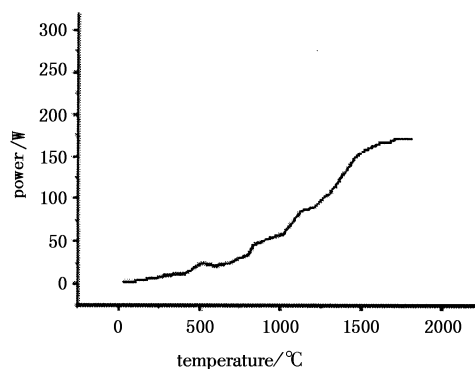


图3 原子炉实验功率与温度的关系

为了检测系统所产成的光刻用铬原子源,我们在系统中引入了一束检测光,使得该光束与原子传输的方向垂直,当激光束与原子束相遇,则原子束会受到激光束的激发而产生荧光,通过观察窗观察所产生的荧光状况,则可以得知原子源的情况。图 6 为所得到的原子源荧光图,从图中可以看出,荧光的强度较亮,即铬原子的密度较大。由 Knudsen 公式通过数值计算可以得到原子炉口所喷射出的铬原子

数为: $N = 1.5 \times 10^{17} \text{s}^{-1}$ 。

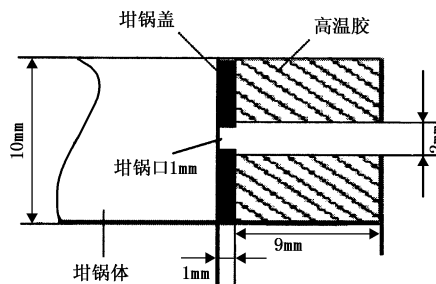


图4 改进的圆筒状坩埚口

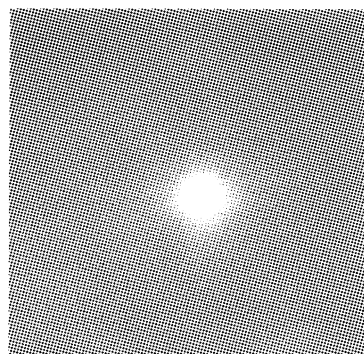
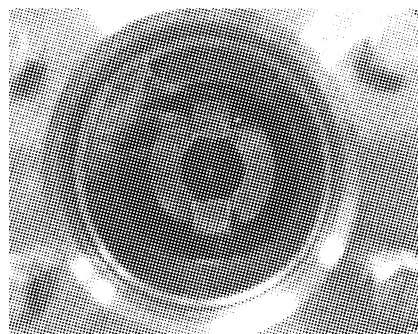
图5 温度为 1650°C 时坩埚口的情况

图6 原子源荧光图

参考文献:

- [1] Jabez J McClelland, Shannon B Hill, Marin Pichler. Nanotechnology with atom optics[J]. Science and Technology of Advanced Materials, 2004, 5: 575 - 580.
- [2] M D Hoogerland, et al. Bright thermal atomic beams by laser cooling: A 1400-fold gain in beam flux[J]. Applied Physics B, 1996, 62: 323.
- [3] McClelland J J, Erson W R. Nanofabrication via atom optics with chromium[J]. SPIE, 1997, 2995: 90 - 95.
- [4] Pan Shao Hua. New mechanism of laser cooling [J]. PHYSICS, 1992, 21 (2): 81 - 84.
- [5] 蔡惟泉, 李传文, 王育竹. 原子光刻[J]. 物理学报, 1999, 48(4): 611 - 614.
- [6] 陈献忠, 姚汉民, 陈旭南, 等. 原子光刻用超真空蒸发设备的设计和建立[J]. 光电工程, 2004, 31(1): 5 - 8.