

科研用气压式纳米压印设备研发

崔玉双, 郝宗斌, 葛海雄

(南京大学现代工程与应用科学学院, 江苏南京 210023)

摘要: 纳米压印是一种高分辨率、高产量、低成本的全新纳米结构制造技术, 其亚十纳米分辨率的技术优势一经出现就引起了全世界的广泛关注。南京大学纳米压印技术与应用实验室开发了一款桌面式科研用气压压印设备, 这款设备在前期设备基础上进行了优化。首先是轻量化、集成化、小型化设计, 设备尺寸大大缩小; 此外也进行了工艺动作的升级改造, 主要解决了压印过程中模板容易变形的问题; 其次对操作界面进行了升级, 自动化能力大大增强。这款设备除了应用于科研领域以外, 还可以作为量产导入前的工艺验证设备使用。其工艺过程成熟, 压印匹配的微结构尺寸范围广泛, 为微纳制造领域的发展提供了助力。

关键词: 气压; 纳米压印; 模板; 均一性

中图分类号: TH692.9

文献标识码: B

Development of a Nanoimprint Lithography Device for Scientific Research Using Gas Pressure

Cui Yushuang, Hao Zongbin, Ge Haixiong

(College of Engineering and Applied Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Nanoimprint lithography is a new nanostructure fabrication technology with high resolution, high throughput and low cost, whose technological advantage of sub-ten-nanometer resolution has attracted extensive attention around the world as soon as it appeared. The Nanoimprint Technology and Application Laboratory of Nanjing University has developed a desktop gas-pressure imprinting device for scientific research, which has been optimized on the basis of the previous device. Firstly, it is a lightweight, integrated and miniaturized design, which greatly reduces the size of the equipment; in addition, it also carries out the upgrading of the process action, which primarily solves the problem of easy deformation of the template in the imprinting process; secondly, it has upgraded the operation interface, and the automation capability has been greatly enhanced. In addition to being used in scientific research, this equipment can also be used as a process verification equipment before mass production is

introduced. The process is mature and the size range of the imprinted matched microstructure is wide, which provides a boost to the development of the field of micro and nano-manufacturing.

Keywords: Gas pressure; Nanoimprint Lithography; mold; uniformity

1 引言

纳米压印技术是上世纪九十年代中期,针对当时光刻技术遭遇百纳米分辨率的瓶颈,由美国普林斯顿大学的 Stephen Y. Chou (周郁) 教授发明的一种高分辨率、高产量、低成本的全新纳米结构制造技术,其亚十纳米分辨率的技术优势一经出现就引起了全世界的广泛关注^[1,2]。纳米压印技术诞生和发展的一个主要目的就是取代当时生产成本日益昂贵且遭遇技术瓶颈的光刻技术,但是在半导体企业通过巨大的投入和科研技术人员对光刻技术进行了一系列艰苦卓绝的改进后,今天线宽仅有 7 纳米、甚至 5 纳米的复杂微电子结构也已制造出来。因此从目前情况看,在短时间内纳米压印技术不可能在半导体行业内替代光刻技术实现产业化,但是在非半导体器件产品的生产和科学研究领域却为纳米压印技术的产业化展现了非常广阔的应用前景。

纳米压印是一种完全不同于光刻技术的纳米制造技术,具有超高分辨率、易量产、低成本、一致性高的技术优点。高分辨率是因为它没有光学曝光中的衍射现象,目前纳米压印的最小分辨率已达到 2 纳米以下,小于目前光刻技术的分辨率;易量产是因为它可以像光刻曝光那样平行工作,同时批量加工纳米结构^[3]。低成本是因为它不像光刻设备需要复杂的光学系统或电子束、离子束光刻机需要复杂的电磁聚焦系统。同时纳米压印技术还与现有的半导体制程工艺完全兼容,与现有光刻技术相比无需湿法的显影步骤,更为环境友好,因此纳米压印可望成为一种工业化生产技术,从而开辟了一种高分辨、低成本、高产量的纳米制造全新途径。近年来在电子、光电、光通讯等科技产品朝“超轻薄短小”、“高集成化”、“高清晰度”发展趋势的带动下,微小化与智能化成为产品技术升级的两项指标,尤其是微小化技术更是成为企业降低生产成本、提升产品性能的重要手段^[4,5]。在高密度硬盘、液晶显示(抗反射膜、偏光板、光栅)、生物芯片、以及光通讯产业(光子晶体、光栅)无不通过借助缩小元件的结构,以开发出功能更强、更新、价格更便宜的产品,纳米压印已成为继光刻技术之后,制造纳米结构、纳米器件相关产品的最具发展潜力与竞争力的通用型技术之一^[6,7]。

世界上各个发达国家都对此技术极为重视,有数百个以上的研究小组在从事与纳米压印相关的研究工作,美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency)等部

门已斥资数亿美金支持这一技术的开发与产业化应用,日本和欧洲等发达国家也在积极参与这项技术的开发工作。许多世界 500 强公司,如 IBM、三星、摩托罗拉、惠普、日立、东芝、希捷等公司也相继组织自己的科研力量对这一技术进行攻关,希望抢占技术制高点,使之成为新一代纳米制造的主要技术之一。目前与纳米压印相关的很多技术与产品均为美对华禁止输出技术与产品。随着美国挑起贸易战争的加剧,对我国采取的高技术封锁政策将更加严苛。

2 气压设备研发

2.1 纳米压印工艺过程

纳米压印的工艺过程如下图所示,首先利用电子束光刻或者激光直写等微纳加工手段进行模板的加工,模板的加工精度直接影响最终压印结构的精度。模板的结构层上需要进行防粘处理,这个处理是为了更好的脱模,然后将制作好的模板覆盖在旋涂有压印胶的衬底上,这个过程是一个贴合的过程,需要控制贴合的稳定性,防止气泡残存在模板和衬底之间。贴合后模板和衬底之间需要保持一个恒定的压力,且有一个保压的时间,让胶材充分填满模板的孔隙。接下来进行紫外曝光处理,使压印胶产生交联反应。随后对压印好的结构进行脱模处理,压印胶上就会显示出模板结构的反版结构。最后通过刻蚀工艺将图案向下传递,在衬底上形成相应的压印结构。

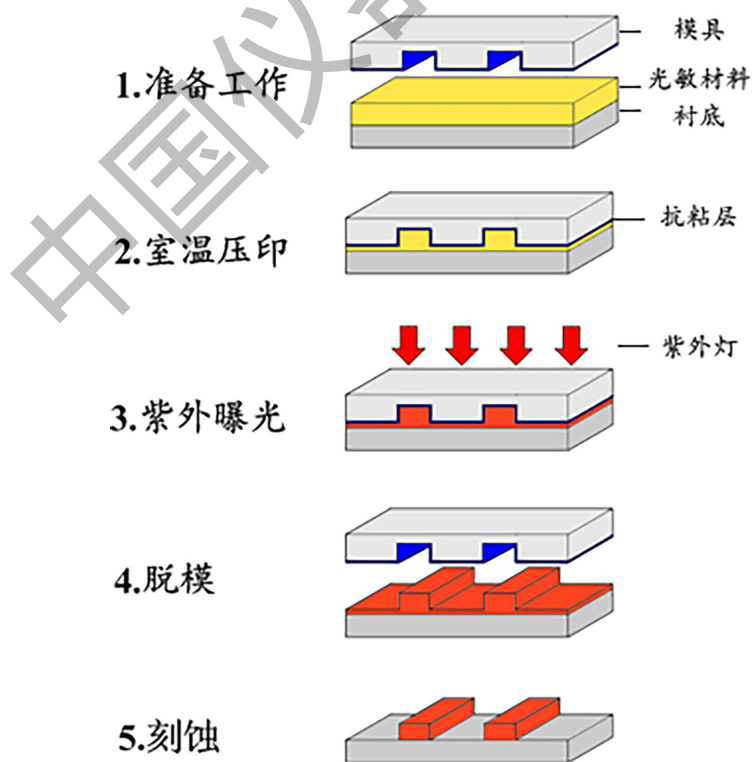


图 1 纳米压印工艺过程

2.2 气压设备设计方案

设备设计之初提出了以下几点要求：

- 1.满足热压印和紫外光固化纳米压印双重功能；
- 2.颗粒包裹性好，降低模板损坏风险；
- 3.大面积压印，且满足压印均一性优良的要求；
- 4.满足高分辨率压印，结构保真度高；
- 5.模块化设计，集成度高，可自由切换 4、6、8 inch 衬底的压印；
- 6.适配小批量量产需求。

为了满足以上需求，且根据之前的研发经验，提出了如图 2 所示的双腔式真空气压方案，此方案配有电加热盘和紫外曝光灯，可以同时满足热压印和紫外压印。采用弹性硅胶垫进行密封，配合使用 PET 软模板，使得模板贴合性能更加优异，对衬底上残存的颗粒容忍度较高，不容易产生模板损坏的现象。气压方式具有与生俱来的均一性优势，当上腔室和下腔室产生一定的压差，压力会均一的分布在软模板的上表面，最终获得均一性良好的压印胶残余层。这会为后续的刻蚀工艺产生积极的影响，有利于结构的向下传递。此外，通过机械设计优化将腔室高度控制在较小的区间，可以限制软模板在压印过程产生较大的变形量。PET 配合模板胶具有较大的杨氏模量和硬度，可以获得高保真度，高分辨率的微纳结构。为了满足不同尺寸 wafer 的压印，采用了模块化设计语言，真空下腔室采用可更换的吸盘，可以涵盖 4、6、8inch 等常用尺寸，这也拓宽了科研及小批量工业生产的选择性。

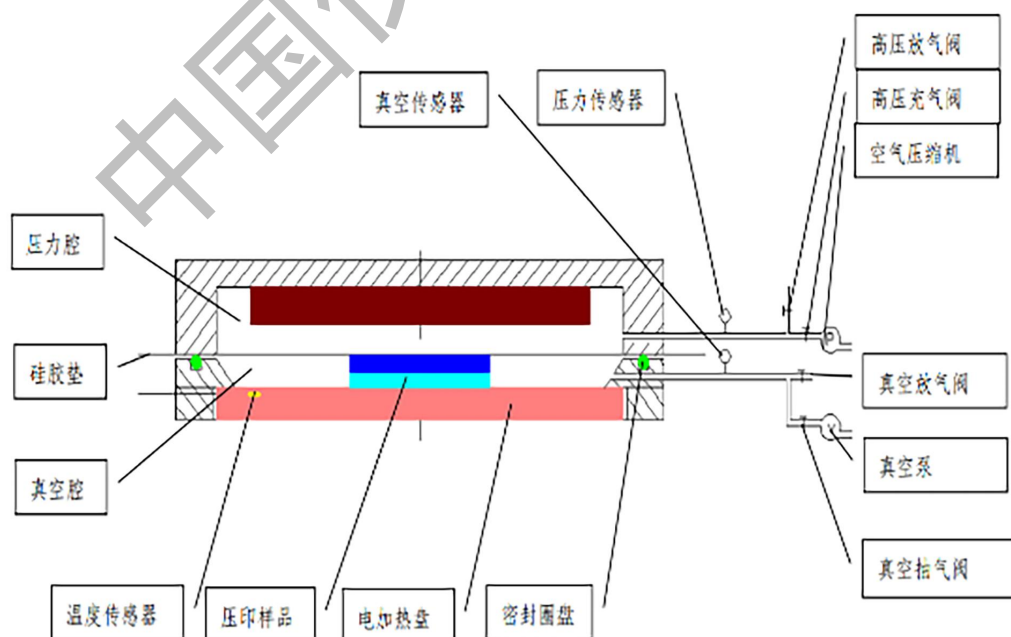


图 2 压印机构设计方案图

2.3 气压设备小型化改造

为了更便于科研实验应用，针对气压式纳米压印机进行了小型化、桌面化的设计。在不损失性能的前提下把设备集成缩小到了极致状态，整个设备长×宽×高为450mm×450mm×900mm。腔室的动力装置和电气元器件都被隐藏在了设备的下半部分，上半部分是压印腔室，如图3所示，整个设备空间利用率极高。设备上半部分做成了半开放形态，便于手动取片和观察。小型化改造后的设备具有安全、稳定、多模态、环境适配性强等优点，且完全满足纳米压印在科研方面的需求，甚至在量产前打样，小批量生产等方面也有一定的应用空间。



图3 设备长×宽×高为450mm×450mm×900mm

2.4 设备工作视频

设备的工作视频参照附件

3 科研用气压式纳米压印设备产生的意义和价值

桌面型科研级纳米压印设备的出现具有极其重要的科研和工业意义。这种设备的性能强大，会对纳米压印领域产生深远的影响，促进了微纳制造领域的发展，同时也对产业界起到了积极的促进作用，尤其是在工艺验证和量产前的应用方面。这一创新设备在科研和产业中将起到非常重要的作用。

首先，桌面型纳米压印设备的出现使得纳米压印技术更加普及和便捷，这对科研界有着显著的意义。以前，纳米压印往往需要使用大型昂贵的设备，限制了许多研究人员的使用。而新型的桌面型设备的出现，使得更多的实验室和研究者能够轻松地进行纳米压印实验，从而推动了这一领域的发展。研究人员可以更快速地进行实验，测试不同材料和工艺的效果，加速了新材料和新工艺的研发过程。微纳制造是现代科技中至关重要的领域，涉及到芯片制造、纳米结构制备、生物传感器制备等各个领域。新型设备的高精度纳米压印能够帮助研究人员制备更复杂、更精细的结构，从而拓宽了微纳制造的应用范围。这对于推动电子、光电子、生物医学和材料科学等领域的发展都具有重要意义。

此外，桌面型纳米压印设备在产业界也将发挥重要作用。首先，它在工艺验证方面具有独特的价值。在产品的开发和制造阶段，工艺验证是至关重要的，以确保产品质量和一致性。新型设备可以用于制备微纳结构的样品，这些样品可以用于验证新工艺的可行性，优化生产流程，并提前发现潜在问题，从而节省时间和成本。这对于各种行业，如半导体制造、光学元件制造和生物传感器开发，都具有巨大的意义。桌面型纳米压印设备还可以促进快速原型制备和小批量生产。在产品研发早期阶段，需要制备样品以进行测试和验证。这种设备可以在短时间内制备出高质量的样品，从而加速产品开发的进程。对于小批量生产而言，这种设备也非常有用，因为它可以快速制备所需的微纳结构，而不需要昂贵的大型生产线。这对于初创企业和小型制造商来说，是一个重要的利好。

参考文献:

- [1]张鸿海, 胡晓峰, 范细秋, 刘胜. 纳米压印光刻技术的研究. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(12): 3.
- [2]罗康, 段智勇. 纳米压印技术进展及应用. 电子工艺技术, 2009, (5): 5.
- [3]兰红波, 丁玉成, 刘红忠, 卢秉恒. 纳米压印光刻模具制作技术研究进展及其发展趋势. 机械工程学报, 2009, 45(6):13.
- [4] Jing, P., Zhimou, X., Xiaofeng, W., Tangyou, S., 彭静, 徐智谋, 等. A study of led with surface photonic crystal structure fabricated by the nanoimprint lithography 纳米压印技术制备表面光子晶体 led 的研究. 物理学报, 2013, (03): 36104-036104.
- [5]夏丁福. 激光干涉光刻制备纳米尺度光栅. Diss. 南京大学, 2012.
- [6]袁远, 顾艳妮, 李志炜, 张鉴, 袁长胜, 葛海雄等. 基于纳米压印技术制备 200nm 周期金自支撑透射光栅. 南京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 6.

[7]张铮, 徐智谋, 孙堂友, 何健, 徐海峰, 张学明, 等. 硅表面抗反射纳米周期阵列结构的纳米压印制备与性能研究. 物理学报,2013, 62(016): 416-422.

中国仪器仪表表学会