

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G03F 7/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810235047.0

[43] 公开日 2009年4月8日

[11] 公开号 CN 101403855A

[22] 申请日 2008.11.7

[21] 申请号 200810235047.0

[71] 申请人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市汉口路22号

[72] 发明人 袁长胜 葛海雄 韩民 丁怀平
陈延峰

[74] 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任公
司

代理人 汤志武 王鹏翔

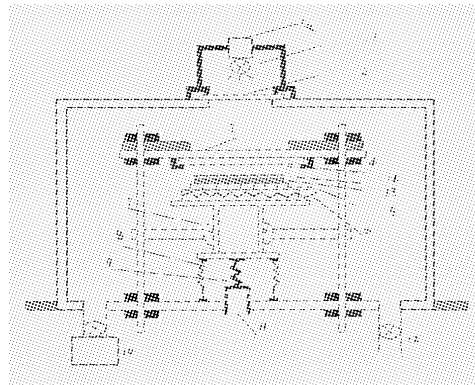
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

[54] 发明名称

紫外/热压固化型纳米压印方法与压印机

[57] 摘要

紫外/热压固化型纳米压印方法，压印过程在真空环境下进行，压印驱动力为可控平稳的高压气体并结合正负压调节匹配的方法，承载基片与压印模板的压印平台在与压印基准面接触压印时，通过自动找平机构实现压印过程。而且将紫外光曝光固化与加热快速冷却固化两种手段集成为一体，即压印基准面采用透紫外光的石英平板，压印平台集真空吸片、温控加热电炉与快速水冷装置等为一体。本发明得到的纳米压印设备结构简单合理，操作简便，性能可靠稳定，制备过程高效低廉，自动化程度高。



1、紫外/热压固化型纳米压印方法，其特征是压印过程在真空环境下进行，压印驱动力为可控平稳的高压气体并结合正负压调节匹配的方法，承载基片与压印模板的压印平台在与压印基准面接触压印时，通过自动找平机构实现压印过程。

2、根据权利要求1所述的紫外/热压固化型纳米压印方法，其特征是将紫外光曝光固化与加热快速冷却固化两种手段集成为一体，即压印基准面采用透紫外光的石英平板，压印平台集真空吸片、温控加热电炉与快速水冷装置等为一体。

3、根据权利要求1所述的紫外/热压固化型纳米压印方法，其特征是初始阶段对真空腔与缓冲均压及调节空气压力的高压舱体同时抽低真空，一旦压印平台与压印基准面密切接触后，再撤去高压舱内负压，充入高压气体产生正压进行压印过程；另一手段是利用透紫外光的软性硅橡胶涂层包裹压印基片与压印模板，以利用进一步缓冲与压印基准面石英板的冲击效应。

4、根据权利要求1所述的紫外/热压固化型纳米压印方法，其特征是在压印实施过程中，压印平台与压印基准面平板接触并压印时通过组合自动找平机构实现找平，该组合找平机构由波纹管高压舱、钢珠调控结构与铜半球环调控结构构成，并与高压气体缓冲均压及调节机构组合成一体。

5、根据权利要求1所述的紫外/热压固化型纳米压印方法，其特征是利用空压机产生的压缩空气作为压印驱动力，通过可控压力表与电控阀门及管道再经压力传导与调节控制等装置来执行压印实施过程；压力传导与调节控制是通过下述波纹管高压舱内施加的气体正压与舱体外部真空产生的负压相匹配，高压舱内抽真空产生的负压相匹配，并结合利用透紫外光软性硅橡胶涂层包裹压印基片与压印模板等手段，将高压气体柔缓均匀地传导到压印平台上，对实施压印中的压力进行缓冲，匀压以及调节与控制，实现样品与模板、样品模板与压印基准面的柔性软接触，从而获得大面积均匀的、高精度与高保真的纳米图案的转移与复制。

6、根据权利要求1所述的紫外/热压固化型纳米压印方法，其特征是利用具有一定弹性的耐压焊接波纹管和具有一定弹性系数的钢性弹簧组合结构组成高压舱体，即弹簧内置于波纹管高压舱内部，弹簧伸缩方向与波纹管长度方向一致，并与下述自动找平调节机构和压印平台集成为一体，波纹管直径100-180mm，自然长度120mm，抽缩行程150mm；在纳米压印实施过程中，既可利用紫外曝光进行纳米图案复制转移，或选择热压固化进行纳米图案复制转移；纳米图案特征尺寸为：线宽5-5000nm，线空比为1:0.1—1:10，槽深1-1000nm。

7、紫外/热压固化型纳米压印机，其特征是，由以下部分构成：真空装置、压印基准面装置、紫外灯曝光装置、压印平台、真空吸片装置、铠装温控电炉加热装置，快速冷却水装置，压力产生装置，压力传导与缓冲控制装置，压印找平自动调节装置；压印真空环境之真空度为10-0.01Pa。

8、根据权利要求7所述的紫外/热压固化型纳米压印机，其特征是采用大功率紫外汞

灯，功率为 50-1000W，以及相关的透紫外石英窗口，双面抛光石英平板压印基准面、反射式聚光灯装置等。压印平台上装有采用铠装加热丝密闭电炉装置，热电偶测温与自动控温装置，加热温度范围为 30-500℃，以及与高平整度的环形槽铸铝真空吸片盘形成压印平台的集成一体化设置方案。压印平台上装有冷却水进行快速冷却的装置，以及将冷却水路密封于加热电炉盘底部的设置方案。

9、根据权利要求 7 所述的紫外/热压固化型纳米压印机，其特征是压印基准面采用水平放置的固定型基准面方案，其基准面材料选用加厚的、经双面抛光的、高平整度超光滑的石英平板玻璃，尺寸为直径 120mm，厚度为 10mm。

10、根据权利要求 7 所述的紫外/热压固化型纳米压印机，其特征是压印自动找平调节装置的结构是：自动找平调节装置由三部分构成，其中之一是上述耐压波纹管的设置；其次采用环形钢珠调控结构，即与联接压印平台与波纹管高压舱的自由升降传导轴形成润滑密配合的组合钢珠，它们与传导轴外部形成点式环形接触，钢珠直径为 5mm；另外采用铜半球环调控结构，即经精密加工的铜半球环，其内环为带有台阶的空心圆柱形，通过其台阶与钢珠外环润滑密配合，外部为光滑的半球面形且与其匹配的同样曲率的光滑不锈钢支撑环结构间留有均匀间隙，该半球环内径 60mm 台阶宽度 4mm，外径 110mm，外球面曲率半径 250mm。

紫外/热压固化型纳米压印方法与压印机

一、技术领域

本发明属微纳结构与器件先进制造新技术应用领域，主要涉及一种用于微米与纳米微结构材料与器件的制备与制造新技术与新工艺，其中主要包括在真空环境下的利用高压气体进行纳米与微米微结构的纳米压印技术，紫外光与加热两种压印胶固化手段的纳米压印机及采用 PLC 进行压印与固化等全过程的自动化控制方法及结构。

二、背景技术

微结构材料与器件的制造技术是当今微电子、光电子与集成光子器件等广大领域中的关键技术。因为目前的科学研究表明，很多材料和器件当进入到微小尺寸，特别是在纳米尺度范围内显示出许多全新的物理和化学性质，因此高效低廉与高稳定性的纳米微结构制备技术的开发与应用在这些领域中的研究与批量生产即显得具有至关重要的意义。纳米制备（nanofabrication）技术是指制备尺寸小于 100nm 结构图案的技术，这一技术最直接的应用就是半导体芯片上集成电路的制造与加工，它同时对集成光电子与光子器件产生的持续深入发展起着极大的推动作用，另外这一技术还可广泛应用于制造其他微纳器件，如微纳机电系统，生物芯片，微型化学反应器与化学分析仪，高灵敏度各类传感器件等许多高科技领域，还有当今生命科学研究的前沿处于纳米和分子水平上，同样需要这种制备技术的强力支撑。作为一项最成熟也是最成功的微纳结构与器件的制备技术，光刻技术（photolithography）为半导体与微电子产业的发展作出了不可磨灭的贡献，但随着集成度与存储密度及运算速度的不断提高，相关器件的尺度相应也要求越来越小，这样在光刻工艺中，除了对其他工序要求越来越高之外，曝光波长也越来越短。随之发展了深紫外与极紫外曝光技术，使得器件制造成本越来越高昂，尽管近年来发展了曝光波长更短的下一代光刻技术，如 X 射线光刻、电子束光刻以及离子束光刻等新技术，但由于这些技术的生产成本极高，以及其他一些致命的不足之处，目前以及近期很难用于器件的大规模生产，同时由于上述技术大多以半导体大规模集成电路生产为研究目的发展出来的，对其他非半导体器件的制备与生产存在严重不足，如投资巨大，生产条件要求很高等等。从上世纪九十年代以来，人们开始寻求简单高效低廉的纳微米结构与器件的制备工艺与技术，如扫描探针方法，自组装方法等，但纳米压印技术是最有前途的大面积高效低廉的纳微结构器件制备技术。

纳米压印（Nanoimprint lithography）是上世纪九十年代中期美国 Princeton 大学 Nanostructure Lab 的 Stephen Y.Chou 教授首先提出类似于高分子模板刻印的一种技术，并且成功证明通过这一技术可以在半导体硅片上获得尺寸小于 10nm 的结构单元。纳米压印技术的工艺过程如附图 1a 所示，它的工作原理是将具有纳米结构的模板通过一定的压力，压入加热熔融的高分子胶层薄膜内，待高分子材料冷却或固化，即纳米结构定型后，移去模板，然后再通过等离子刻蚀等传统的微电子加工手段把纳米结

构进一步转移至半导体硅片上。由于进行纳米压印时需要较高的压力（数十大气压），容易破坏模板上的纳米结构，不利于模板的反复多次使用；同时印制过程需加热使高分子熔融软化，但由于模板、高分子材料与基板的热膨胀系数不同，加热与冷却过程中产生的应力也会造成纳米结构在转移与复制过程中产生缺陷。为此美国德州大学奥斯丁分校的 C.G. Willson 研究小组提出了步进曝光压印技术（step and flash imprint），其工艺过程见附图 1b，即采用粘度低、流动性好的可紫外光固化预聚物体系作为纳米压印材料，将其滴在基片上，利用液体特有的毛细现象，当模板与可紫外固化预聚物接触后，不需要外界压力，就可使紫外固化材料很容易地注入模板的纳米结构内，并通过紫外光使其快速固化，从而使纳米压印过程可以在室温与较低的压力下迅速完成（这里需一定的压力，是为了使模板和基板上的紫外光固化材料能够很好的接触），达到了可规模化生产应用的要求，从而也突破了纳米压印上述一大瓶颈问题。但该方法形成的压印残留层厚度不均匀，较难通过等离子刻蚀技术实现纳米结构图案的精确转移。Stephen Y. Chou 小组基于步进曝光压印技术，在热压印基础上发展了基于旋转涂膜的可紫外光固化的纳米压印技术，可在基片上形成厚度均匀的可紫外光固化预聚物液体膜，压印后残留层的厚度也保持均匀，可实现较大面积纳米图案的精确转移复制，其压印出的纳米结构最小尺寸达到 5nm。

纳米压印技术以高分子材料的模板压印技术为基础，有可能大幅度降低半导体芯片的生产成本，缩小基本结构单元尺寸，具有极大的科研价值和潜在的商业价值。这一技术自出现以来立即成为炙手可热的研究与应用领域，国际权威部门论定，纳米压印技术将在未来 10 年内取代光刻技术，对半导体相关行业及其他行业产生革命化的影响。随着纳米压印技术与工艺的迅速发展与不断完善，对纳米压印实施手段—纳米压印设备的研究开发与制备也在不断发展与升级换代。基于上述两种压印方法，目前国际上共发展出三种类型的纳米压印设备，一种为热压印与气垫压印设备，一种为先进曝光压印设备，第三种为以接触式光刻机为基础，增加一纳米压印卡盒并利用紫外光固化压印。这三种类型的压印设备各有不足之处，第一种的热压印需较大压力，气垫压印虽集紫外与热固化两种压印功能，但压印压力不足；第二种的步进曝光压印残留层不均匀，难以实现大面积纳米图案精确复制；第三种接触光刻压印对模板与基板尺寸有严格要求，且在大气压下压印，压力不足，模板与基板亦不能完全贴合，易造成大面积的压印缺陷。

三、 发明内容

本发明的目的：提出紫外/热压固化型纳米压印方法与压印机设置方案，，经过反复优化压印过程与各项性能指标，研制出一种新型先进的多功能纳米压印机系统。该系统中的纳米压印过程是在真空环境下进行的，依靠可控稳定的气压气体驱动，结合耐压焊接波纹管与弹簧组合机构对气体的传导、缓冲与调控，并独特地利用所设计的压印自动找平（或导平）机构，实现模板纳米图案在衬底胶层中的压印与高精度转移；该纳米压印过程利用紫外光与热压固化两种手段实现胶层高分子材料固化与快速冷却；纳米压印各主要功能与主要过程实行实时监控与全自动化操作与控制，从而保

证压印的高质量与高效率。

本发明目的是这样实现的：紫外/热压固化型纳米压印方法与压印机的设置方案，使得压印过程在真空环境下进行，其真空度范围为 $10^{-0.01}\text{Pa}$ 。在实施纳米压印过程中，压印基准面的设置方式采用水平放置的固定不动的经双面抛光的高平整度、超光滑的石英平板玻璃，使其固定在加强的机械支架上；承载基片与模板的压印平台通过附加以下装置实现其多功能化：一为真空吸片装置，一为铠装温控加热电炉装置，另外还配置快速水冷装置，并将冷却水路密封于加热电炉盘底部，该压印平台的功能集成化一体的装置通过导轨系统连接于波纹管高压舱上端。在压印过程中，通过下述的连接传送导轨的自动找平装置上，并与安装于其下方并驱动其上下自由地平衡升降的压力传导与压力调控装置，共同实现与压印基准面石英板面的软接触。

压印初始阶段对真空腔与高压舱同时抽真空，一旦压印平台与压印基准面密接触后撤去高压舱内负压，缓慢充入高压气体产生正向压力进行压印过程，同时控制充入气体的压力大小；另外利用透紫外光的软性硅橡胶涂层包裹压印基片与压印模板，以利用进一步缓冲与压印基准面石英板的冲击效应。

真空环境真空度为 $10^{-0.01}\text{Pa}$ 。在实施纳米压印过程中，既可利用紫外曝光进行纳米图案复制转移，同时也可选择热压固化进行纳米图案复制转移。纳米图案特征尺寸为：线宽 $5\text{-}5000\text{nm}$ ，线宽比为 $1:0.1\text{—}1:10$ ，槽深 $1\text{-}1000\text{nm}$ 。

采用大功率紫外汞灯，功率为 $50\text{-}1000\text{W}$ ，以及相关的透紫外石英窗口，双面抛光石英平板压印基准面、反射式聚光灯装置等。

压印平台上装有采用铠装加热丝密闭电炉装置，热电偶测温与自动控温装置，加热温度范围为 $30\text{-}500^\circ\text{C}$ ，以及与真空吸片盘形成压印平台的集成一体化设置方案。压印平台上装有冷却水进行快速冷却的装置，以及将冷却水路密封于加热电炉盘底部的设置方案。

压印基准面采用水平放置的固定型基准面结构方案，其基准面材料选用加厚的、经双面抛光的、高平整度超光滑的石英平板玻璃，尺寸为直径 120mm ，厚度为 10mm ；压印平台为高平整度的环形槽铸铝真空吸盘的设置方法。利用空压机产生的压缩空气作为压印驱动力，通过可控压力表与电控阀门及管道（典型压力值为 $1\text{—}20$ 个大气压）再经压力传导与调节控制等装置来执行压印实施过程。

利用具有一定弹性的耐压焊接波纹管和具有一定弹性系数的钢性弹簧组合结构组成高压舱体，即弹簧内置于波纹管高压舱内部用于推进压印平台，弹簧伸缩方向与波纹管长度方向一致；波纹管直径 120mm ，自然长度 120mm ，抽缩行程 150mm ，将高压气体柔缓均匀地传导到压印平台上，对实施压印中的压力进行缓冲、匀压以及调节与控制，实现样品与模板、样品模板与压印基准面的柔性软接触，从而获得大面积均匀的、高精度的纳米图案复制与转移。

通过波纹管高压舱外部真空产生的负压与高压舱内部的正压相匹配，用来调控与缓冲均匀压印实施压力，减轻压力的冲击效应。压印找平自动调节设置方案，采用三种手段实施自动找平与调节，利用设置于压印平台下方并与升降传导与由相联接的焊

接波纹管。

压印找平自动调节设置方案，采用环形钢珠调控结构，即与传导轴形成润滑密配合的组合钢球，它们与传导轴外部形成点式环形接触，钢珠直径为 5mm。压印找平自动调节装置方案，采用铜半球环调控结构，即经精密加工内环为圆柱形并与钢珠外环润滑密配合、外环为半球面形且与匹配的不锈钢支撑环结构留有均匀间隙的可调控铜半球结构，半球环内径 60mm，外径 110mm，外球面曲率半径 250mm。

本发明在充分借鉴现有三类压印设备长处的基础上，独创性地对压力传导与调控、压印找平自动调节、压印平台与压印基准面、固化快速冷却、压印正负压匹配与调控等系统提出巧妙合理的设计与研制，成功实现了纳米压印实施过程中的高效低廉，结构简单，操作简便，自动化程度高，并能实现大面积纳米图案的精确转移复制。

本发明的有益效果：根据纳米压印最新技术的特点，设计与研制出工作于真空环境下的，具有紫外光固化功能和热压功能两用型，压印过程平稳可控，压印找平自动调节，压印实施全过程进行实时监控的手动与全自动控制的纳米压印设备，这一全新的设计方案，经过对过程与技术参数的筛选与优化，各项功能与技术性能指标达到或超过国外最先进同类系统相应指标，且操作简便，性能稳定，压印质量可靠等优点，该发明设备可用于科研工作与小批量产品生产。从技术方案实施方面，主要从以下几个方面体现其独创性：①纳米压印过程在具有一定真空度的真空腔内进行，很好地解决了因模板和基片之间滞留空气形成气垫，因而在压印时造成大面积的压印缺陷之问题，同时真空状态也有利于紫外光固化材料的快速固化。②纳米压印的驱动力来源于压缩空气，利用具有一定压力的气体通过独创的以具有一定拉伸行程的焊接波纹管 and 具有一定弹性系数的钢性弹簧为核心部件构成的，即所谓压力传导装置和压力调节控制装置，对气压进行传导、缓冲、均压以及调节与控制。另外巧妙地利用了真空腔在抽真空的初期产生的负压逐渐由小到大，通过控制波纹管 and 抽伸弹簧的弹性系数并结合抽气速度，使与波纹管相连接的压印平台缓慢平稳上升，实现与其上的压印基准面石英板的“软接触”，从而保证压印精度与质量，提高压印模板的使用寿命等。该项技术的使用避免了目前国际上纳米压印设备的压印驱动装置需采用高灵敏、高精密但十分昂贵的传感系统和机械系统且压印质量不可靠的最大困难。③本发明中采用多项独创的有效措施解决了压印过程中压印样品与压印基准面石英板的找平与自动调节技术难题。首先利用波纹管在 X-Y 平面内较大范围的摆动自由度，使固定在其上的压印平台通过 Z 方向的垂直向上压力，使压印平台在一定范围内与上方基准面自动找平；其次通过钢珠调控结构，即联接高压舱上方的传导轴外的环形钢珠密配合结构，这种点式环接触保证压印平台在上升过程中在 X-Y 平面任一方向都有一定角度的调节量；最后再经半球环调控结构，即经精密加工并与钢珠外环密配合且其外球面与其匹配的不锈钢支撑结构留有一均匀空隙的可调铜半球环装置调节，进一步增大找平与平衡调节范围，并能提高找平自动调节的稳定性，使找平调节更灵活，调控精度更高，最终实现压印柔和、平稳、均匀地施加在模板和基片上。④压印基准面选用表面固定的高平整度、超光滑、并经双面抛光的加厚石英平板，结合透紫外耐压石英窗

口、大功率紫外汞灯、可控温铠装加热丝加热电炉等部件，实现纳米压印的紫外曝光固化与热压固化集成于一体的两种压印模式。⑤纳米压印功能的实施采用手动与全自动两种操作模式，自动控制系统采用可靠性高、操作简便 PLC，显示与功能操作界面的触摸屏作为数据输入和操作指令输入单元。

四、附图说明

图 1 (a) 和 1 (b) 分别为纳米压印过程与先进曝光压印过程示意图。

图 2 为本发明紫外/热压固化型纳米压印机机械装置结构图。其主要组成部分分别为压印真空腔、波纹管高压舱与缓冲弹簧组合结构，铜半球环与钢珠找平组合结构，附真空吸盘与铠装电炉的压印平台结构，固定石英玻璃压印基准面装置，附石英窗口 2 的紫外汞灯装置等。包括紫外灯 1、石英板 3、模板 4、真空吸盘 5、加热装置 6、自动找平机构 7、波纹管高压仓 8、缓冲弹簧 9、真空泵 10、高压气体进气口 11、放气阀 12、基片 13、胶 14。

图 3 为控制系统框图

图 4 (a) (b) (c) 分别为以本发明压印机压印实验结果的扫描电镜图。其中图 4 (a) 为纳米压印制备的周期 200nm，槽深 60nm 的铬金属光栅；图 4 (b) 为纳米压印制备的周期 60nm 的光栅结构高分子模板，其分辨率为 5000 线/毫米。

五、具体实施方式

本发明目的的实现手段与具体实施方案可分为以下三部分分别加以说明：

(一)、纳米压印机机械系统的设计与研制

本发明中纳米压印机的机械系统部分是整个压印装置中最关键与核心部分，它主要涉及到真空装置提供压印的真空环境，压印实施装置（包括压印平台、压力产生装置、压力传导装置、压力控制装置等），压印基准面装置，压印找平自动调节装置，真空吸片装置等部分。

(1)、真空系统

本发明中纳米压印过程的执行是在真空条件下进行的。根据纳米压印的特点，若压印在常压气氛环境中进行，由于模板和基片并不绝对平整、相互吻合，则环境中的气体，在压印时很容易被滞留在模板和基片之间，无法排除，在模板和基片间形成气垫，阻止模板和基片接触，这是纳米压印产生缺陷的主要原因之一。另外紫外光固化纳米压印中所使用的压印胶材料，无论是通过自由基聚合的丙烯酸酯类材料，还是通过阳离子聚合的乙烯基醚类材料，都需在无氧的条件下才能固化，因此解决这一问题简单而行之有效的方法就是使压印过程在真空条件下完成。

本项目中真空系统的主体为具有一定体积的圆柱形真空密封腔，腔体采用无缝不锈钢管，钢管底部通过亚弧焊焊接法兰，腔体底座为不锈钢圆盘，腔体与底座通过紧密螺丝、螺母连接，柔性橡胶垫圈密封，可便于安装、拆卸其他装置。底座开有大小不一的圆孔，并焊接上法兰，可与其它设备的法兰密封连接，主要连接压印驱动装置、真空泵、真空阀、气压计等。考虑到紫外光源体积较大，不宜安置在腔体内部，紫外光从腔体上端进入。因此腔体顶部为圆形耐压石英片窗口，石英片厚度为 10mm，

通过大小不锈钢法兰、紧固件及聚四氟乙烯垫片、橡胶垫圈等紧密连接在真空腔体上。为便于观察压印过程，在腔体的侧壁开有透明的耐压玻璃窗口，同样用法兰、垫片、垫圈等密封。整个真空腔体安放在防震平台上。

(2) 压印基准面与压印平台

本发明中的压印过程是通过一定的压力使压印模板上的纳米图案转移到涂有高分子压印胶的基片表面上，在压印实施过程中首先确定压印两维平面的基准面，并且能承受 20 个大气压以上的高压，还要能透过紫外光使压印胶固化。本发明为此选用超光滑、高平整度、具有双面抛光、厚度为 10mm 的石英平板，其直径 120mm。该石英基准面装置通过一定的加强机械支架固定，在压印过程中使之保持不变。压印平台用于承载压印基片与模板并具有真空吸片功能，将之安装于具有自动找平装置上端，在压印过程中，通过自动找平机构与压印标准面自动找平。该压印平台采用具有真空吸片功能的高平整度的铸造金属铝板，其表面铸有环形真空吸盘与密封结构，除可固定基片外能够快速导热（其下为固化加热电炉），并且在压力传导与压力调控装置驱动下，能够上下自由地平衡升降，并实现与压印基准面石英板面的软接触，以免造成压印中的冲击效应损伤模板与破坏压印效果，本发明的另一创新点是为进一步缓冲压印冲击效应，在真空腔体抽真空的初期，利用下述高压舱内的负压手段，即初始阶段对高压舱采用以下两种有效手段抽低真空，一旦压印平台与压印基准面密接触后再撤去负压，充入高压气体产生正压进行压印过程；另一手段是利用透紫外光的软性硅橡胶涂层包裹压印基片与压印模板，以利于缓冲与压印基准面石英板的冲击效应。

(3) 压力传导与调节控制系统

压力传导与调节控制系统是本发明中纳米压印机的关键部件之一，主要包括压印基准面与压印平台、压力产生装置、压力传导、缓冲与均压装置、压力调节与控制装置等。压印实施装置与性能的优劣直接对压印产生的纳米结构图案的质量（包括压印线条深度、模板对胶层图案转移的高保真性、大面积压印均匀性等）、压印稳定性与可靠性、压印效率、压印模板的使用寿命、压印过程的可控性等诸多重要因素有直接关联，是本发明不同于国内外其他纳米压印设备且体现创新性、技术先进、新颖、操作可靠可控、压印高质量高效率、因此具有自主知识产权的发明创新的主要表现之一。

① 压力产生装置

纳米压印过程需要一定的压力来执行，而气压具有均匀性、缓冲性、可调节及易实现正负压匹配等独特优点，本发明选用高压气体作为驱动力来实施压印过程。在压印实施过程中，压印样品的实际加压压强与压印样品的面积有关，具体关系为高压舱底面积与样品面积之比值再乘以施加于高压舱内的压强。输入于高压舱内的高压气体是采用空气压缩机产生的，其额定工作气体压力为 12 大气压，在一定容积的高压舱内，它可以持续稳定地提供大于 10 个大气压的压强，用以完成压印实施过程。

② 压力传导、缓冲与均压以及调节与控制装置

纳米压印过程中，压力系统产生的压力需通过压力传导装置传递至模板和基片表面上，并通过相关的压力调节与控制装置使压力缓冲、平稳并均匀地施加于模板与基

片上。目前国外公司生产的纳米压印机无论采用油压机或气压机大多采用高灵敏度的压力传感器结合精密的机械装置进行压力的传递与控制，但其结构复杂，成本较高，可控性与稳定性不高，压印效果与成品合格率也不尽人意。本发明的压力传导装置、缓冲与均匀装置和压力调节控制装置巧妙地合为一体，其关键部件为具有一定施压底面积与伸缩行程的耐压焊接波纹管与内置的具有较高弹性系数的钢性弹簧组合而成的高压舱系统（见附图2）。在该系统中，压力的传导与缓冲、均压依据采取的措施：压印真空腔在抽真空的初始阶段，高压舱内的相对压强逐渐增大使之逐渐伸长而上升，为减缓上升过程而引起的压印平台对压印基准面石英板的冲击，措施之一是采用连接在高压舱上端的具有一定弹性系数的钢性弹簧内置于波纹管内部，另外高压舱伸缩波纹管内用另一低抽速真空泵产生一定的负压调控并缓冲其上升速度，待压印平台缓慢平稳上升并与其上的石英板软接触并紧密接触后，一旦达到设计的压印真空度，撤去高压舱内负压，缓慢充入压缩空气使其有充分时间使正向压力均匀分布在高压舱底表面直至设定压强以达到压印过程中的均压效果。

本发明中充入至高压舱内的高压气体额定压强为20个大气压，完全满足一般压印过程要求，利用该系统，结合相关纳米压印工艺，已获得令人满意的压印效果。压力的调节与控制通过以下装置与措施实现：压印过程中压力大小的设置依据模板纳米结构、压印胶材料、压印样品面积及均匀性要求等因素，在特定的压印真空条件下，实际作用于压印样品上的压力还应扣除弹簧的拉伸作用力，而高压舱内的气体压力，可压力稳定后通过连接在其管道上的高精度气压表显示出来。该设计中相关气体高压舱及其管道漏气体很低，足够保证长时间压印中气压的稳定性。压印过程结束后，通过连接阀门撤去高压气体的充入，然后通过转换开关连接至真空泵，使压印平台及压印样品与模板缓慢脱离压印基准面石英板，从而在真空腔充气后完成全部压印过程。

（4）压印找平自动调节装置

压印找平自动调节装置是本发明纳米压印机的另一关键部件与系统，其主要功能是在压印实施过程中，使压印平台上承载的模板上表面与固定的近似水平放置的压印基准面石英下表面自动均匀贴合找平，从而使得整个样品与模板间受压均匀，提高纳米图案转移过程中的均匀性。该装置与上述压力传导与调节控制系统集成为一体，主要由以下两部分组成，一为钢珠调控结构，联接波纹管高压舱与压印平台的不锈钢轴外套一环形钢珠结构，钢珠之间密配合，这样轴与钢珠间通过点式环接触，以保证在钢轴自由上升与下降过程中，压印平台表面在任一方向都可以有一定的角度调节量，因为与之相连接的焊接波纹管在垂直上升或下降过程中在X-Y水平面内有较大范围的摆动自由度；二为半球环调控结构，在环形钢珠外环装配有经精密设计与加工并与钢珠密配合的铜半球环调控结构（如附图2所示），该半球环内环与钢珠间紧密配合且为点式环接触，外环与精密加工的光滑不锈钢结构连接，该连接处设计有一调节空隙并具有一定曲率使其与铜球匹配。这种调控装置进一步增加平衡调节范围，使压印平台有更多的调节余地，且使找平调节更灵活，控制精度更高。同时以石英基准面为基准平面，压印过程中通过气压完成找平的自动调节与控制，从而保证大面积样品的

均匀受压与纳米图案转移的高精度。该发明结构执行自动调控的全向角度（整个空间范围）范围可达 $\pm 10^\circ$

（二）紫外曝光与加热固化装置的设计与研制

根据纳米压印工艺，当通过压印过程将模板上的纳米图案均匀精确地转移到基片表面胶层上后，需收液体型的高分子压印，胶固化以保持纳米图案，该固化过程可以通过加热固化或紫外曝光固化两种方式。本发明兼顾此两种固化手段，即在该系统装置中既可实现加热固化，也可采用紫外曝光固化模式，这样对压印胶种类的选择具有更大的使用范围与灵活性。本装置主要由铠装加热丝密封电炉盘、测温与控温热电偶、自动控温与温度显示温度控制仪、大功率汞灯紫外光源、反射聚光型灯箱结构、紫外光透射石英窗口等部分组成。

（1）纳米压印加热固化装置

加热固化装置采用铠装加热丝密封电炉盘，这样既安全又可提高加热效率，通过特定的结构设计，将其嵌装于由铸铝吸盘构成的压印平台与焊接波纹管上接传动轴之间，并使其集成为一体。另外在加热电炉盘底部设计并安装有冷却水快速水冷通道，目的在于热压印完成后，通过冷却水快速水冷，使加热熔融的热塑型高分子材料快速冷却并固化定型，以保证压印精度与提高压印效果。同时该装置配备测温与控温热电偶，并使其连接程序自动控温与温度显示的控温仪，将其连接到下述的压印设备的自动控制系统中，可对加热温度与时间进行精确控制以保证压印样品的质量。

（2）纳米压印紫外曝光固化装置

紫外曝光固化装置采用大功率汞灯紫外光源，其有效曝光波长主要由其 g 线（465nm）、h 线（405nm）和 i 线（365nm）构成，并配备反射聚光型防护灯箱装置，通过紫外光透射石英窗口连接安装在压印真空腔体上方。通过一定功率的紫外光曝光，可使纳米压印高分子材料在数秒内快速固化。通过对其曝光时间的自动控制，可达到对曝光剂量的控制，从而实现对压印材料的快速固化过程。

（三）纳米压印机自动控制系统

本发明中纳米压印机的所有功能执行过程，既可以通过手动模式进行控制，还配备程序自动控制系统，在纳米压印与紫外/热固化实施过程中，根据工艺设定的各种工艺参数与工艺程序，通过各种相关探头与传感器，以及监控与操作程序系统，可进行全过程实时监控与全自动控制，其中包括压印真空腔内的抽真空与真空度，空气压缩机与相应阀门的开启，压印气体的设定、实显与压印时间，压印样品实际压强，固化加热设定温度与实显温度，加热时间，固化水冷却的启动，紫外固化曝光启动与曝光时间，压印过程结束后的真空腔充气与高压舱充气等。压印机对于电控系统的主要要求是可靠性高和操作控制简便，不需要有很强的计算能力，因此本设备使用西门子的 S7-200PLC，TP270 触摸屏作为数据显示和指令输入。整个控制系统框图如图 3 所示。压印功能实施过程中的手动与 PLC 自动控制结合触摸屏实时监控的全自动操作方案的两种工作模式。结合真空计、温控仪、可控压力表、多种可控阀门与继电器等元器件，实现压印实施过程的实时监控与全自动化操作。

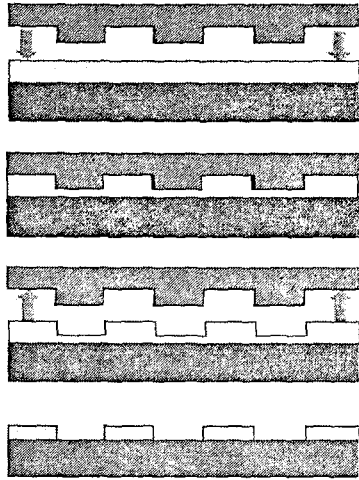


图 1 (a)

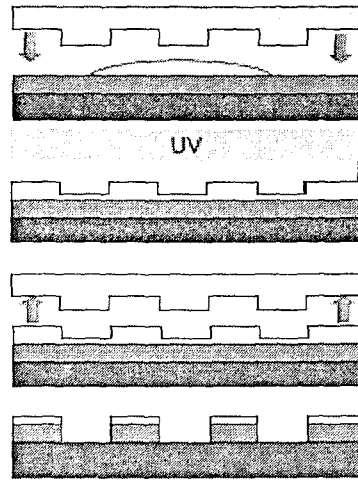


图 1 (b)

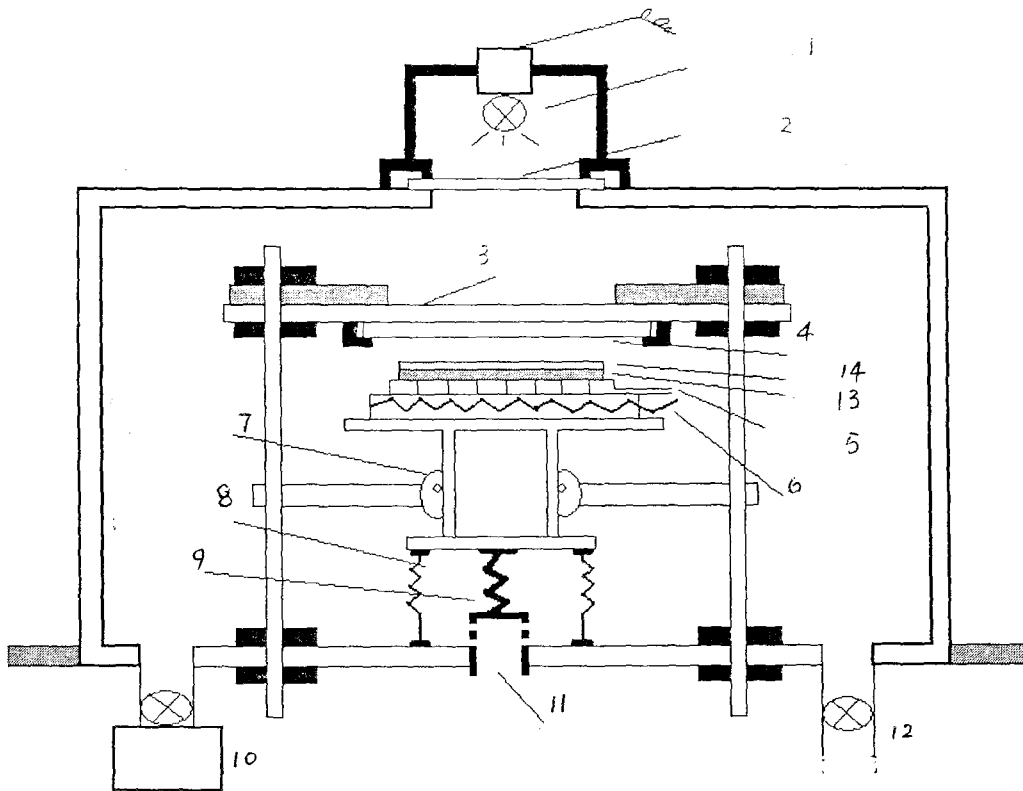


图 2

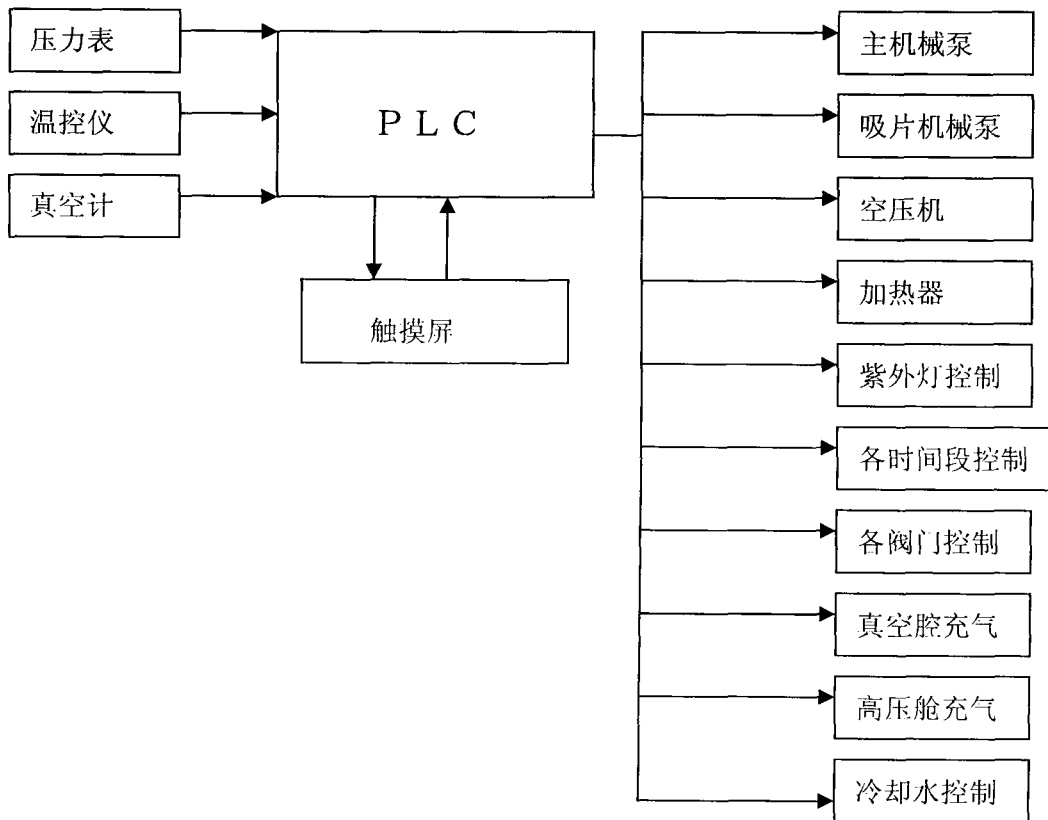


图 3

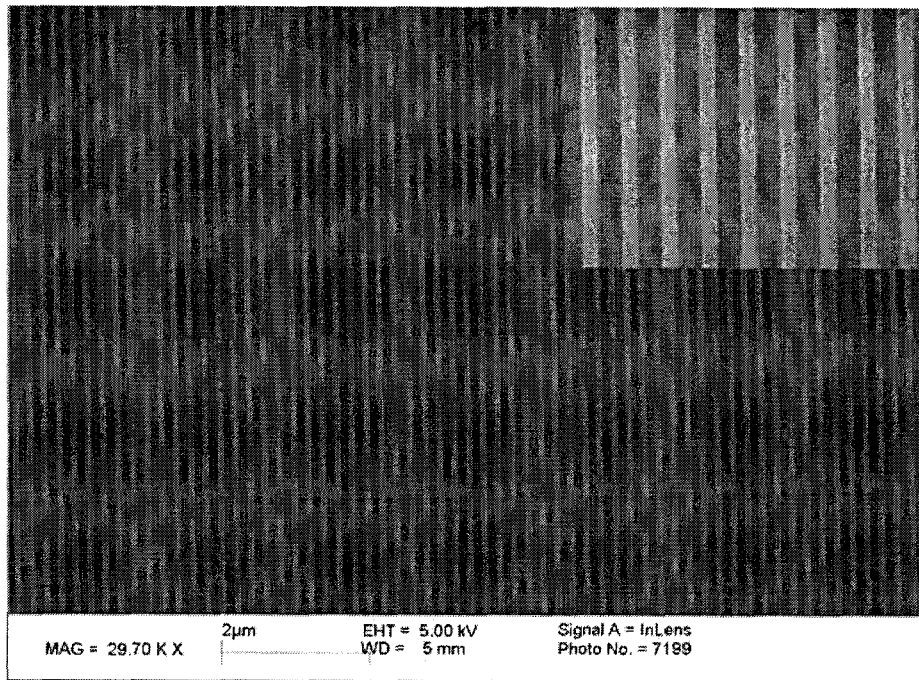


图 4 (a)

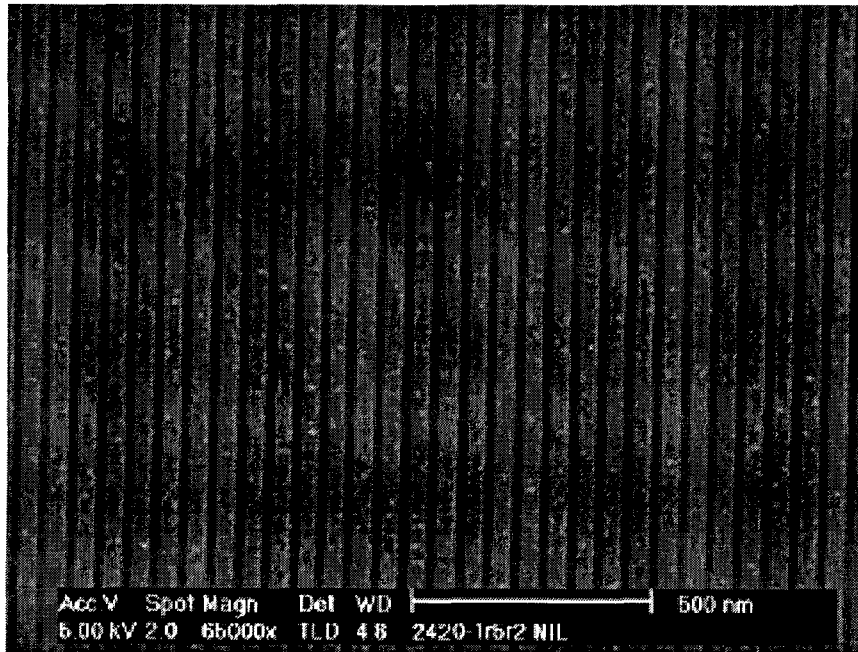


图 4 (b)

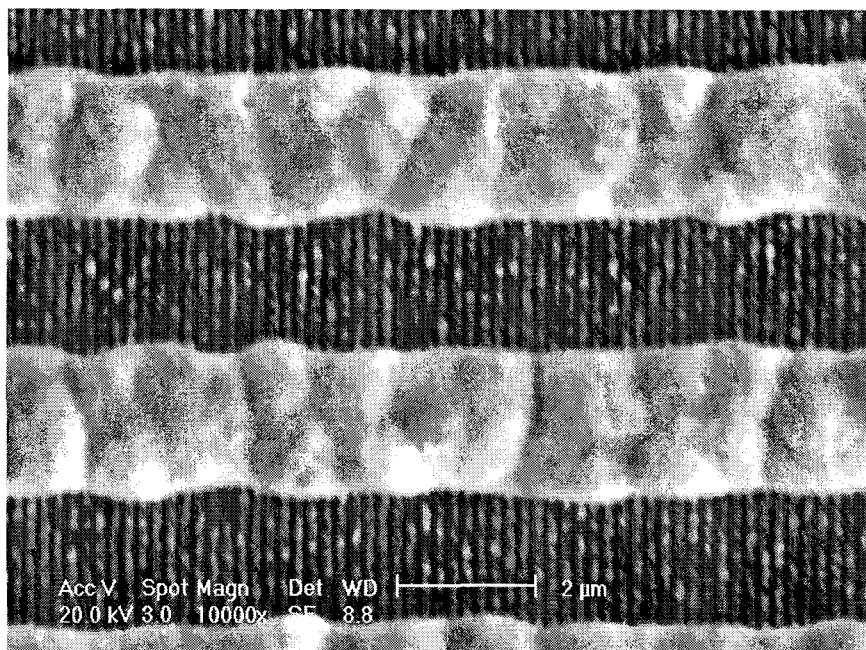


图 4 (c)