

# NPGS 电子束曝光系统（电子束微影光刻系统）介绍

## JC Nability Lithography Systems

在过去的几年中，半导体器件和 IC 生产等微电子技术已发展到深亚微米阶段及纳米阶段。为了追求晶片更高的运算速度与更高的效能，三十多年来，半导体产业遵循著摩尔定律（Moore's Law）：每十八个月单一晶片上电晶体的数量倍增，持续地朝微小化努力。为继续摩尔定律，在此期间，与微电子领域相关的微/纳加工技术得到了飞速发展，科学家提出各种解决方案如：图形曝光（光刻）技术、材料刻蚀技术、薄膜生成技术等。其中，图形曝光技术（微影术）是微电子制造技术发展的主要推动者，正是由于曝光图形的分辨率和套刻精度的不断提高，促使集成电路集成度不断提高和制备成本持续降低。

电子束曝光系统（electron beam lithography, EBL，又称电子束暴光系统）是一种利用电子束在工件面上扫描直接产生图形的装置。由于 SEM、STEM 及 FIB 的工作方式与电子束曝光机十分相近，美国 JC Nability Lithography Systems 公司成功研发了基于改造商品 SEM、STEM 或 FIB 的电子束曝光装置（Nanometer Pattern Generation System 纳米图形发生系统，简称 NPGS，又称电子束微影系统）。电子束曝光技术具有可直接刻画精细图案的优点，且高能电子的波长短（ $< 1 \text{ nm}$ ），可避免绕射效应的困扰，是实验室制作微小纳米电子元件最佳的选择。相对于购买昂贵的专用电子束曝光机台，以既有的 SEM 等为基础，外加电子束控制系统，透过电脑介面控制电子显微镜中电子束之矢量扫描，以进行直接刻画图案，在造价方面可大幅节省，且兼具原 SEM 的观测功能，在功能与价格方面均具有优势。由于其具有高分辨率以及低成本等特点，在北美研究机构中，JC Nability 的 NPGS 是最热销的配套于扫描电镜的电子束微影曝光系统，而且它的应用在世界各地越来越广泛。

NPGS 的技术目标是提供一个功能强大的多样化简易操作系统，结合使用市面上已有的扫描电镜、扫描透射电镜或聚焦离子束装置，用来实现艺术级的电子束或离子束平版印刷技术。NPGS 能成功满足这个目的，得到了当前众多用户的强烈推荐和一致肯定。



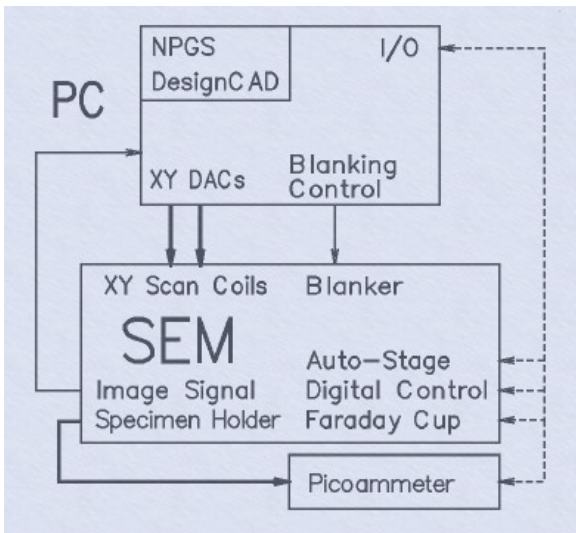
SEM+NPGS 改装范例一



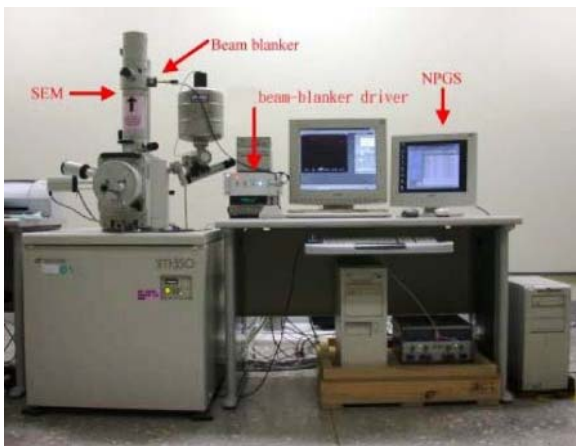
SEM+NPGS 改装范例二

### 一. 技术描述：

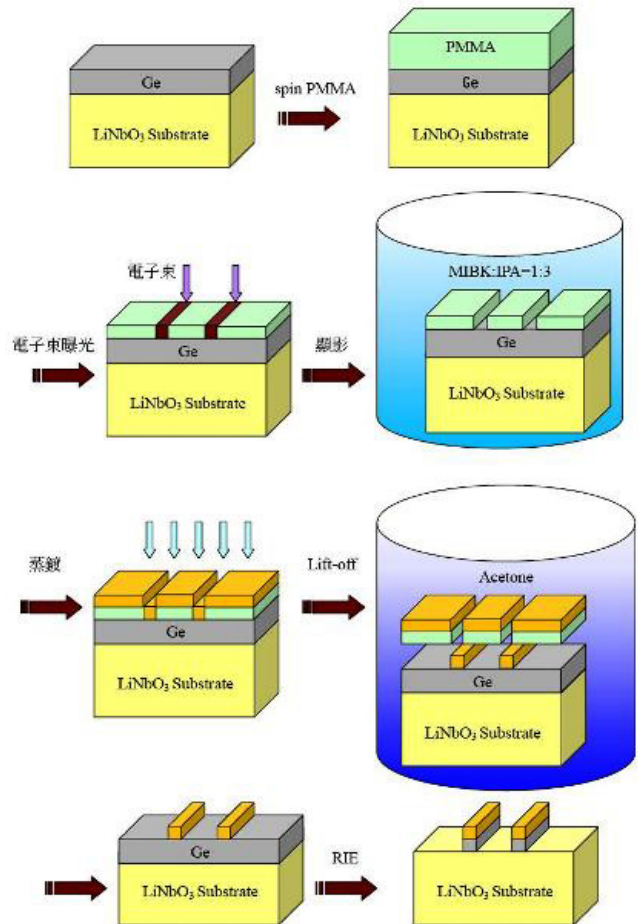
为满足纳米级电子束曝光系统的要求，JC Nability 的 NPGS 系统设计了一个纳米图形发生器和数模转换电路，并采用 PC 机控制。PC 机通过图形发生器和数模转换电路去驱动 SEM 等仪器的扫描线圈，从而使电子束偏转并控制束闸的通断。通过 NPGS 可以对标准样片进行图像采集以及扫描场的校正。配合精密定位的工件台，还可以实现曝光场的拼接和套刻。利用配套软件也可以新建或导入多种通用格式的曝光图形。



SEM+NPGS 系统原理图



SEM+NPGS 系统组成



NPGS 电子束微影曝光流程图之一

### (一) 电子源 (Electron Source)

曝照所需电子束是由既有的 SEM、STEM 或 FIB 产生的电子束 (离子束) 提供。

### (二) 电子束扫描控制 (Beam Scanning Control)

电子射出后, 受数千乃至数万伏特之加速电压驱动沿显微镜中轴向下移动, 并受中轴周围磁透镜 (magnetic lens) 作用形成聚焦电子束而对样本表面进行扫描与图案刻画。扫描方式可分为循序扫描 (raster scan) 与矢量扫描 (vector scan)。

循序扫描是控制电子束在既定的扫描范围内进行逐点逐行的扫描, 扫描的点距与行距由程式控制, 而当扫描到有微影图案的区域时, 电子束开启进行曝光, 而当扫描到无图案区域时, 电子束被阻断; 矢量扫描则是直接将电子束移动到扫描范围内有图案的区域后开启电子束进行曝光, 所需时间较少。

扫描过程中, 电子束的开启与阻断是由电子束阻断器 (beam blower) 所控制。电子束阻断器通常安装在磁透镜组上方, 其功效为产生一大偏转磁场使电子束完全偏离中轴而无法到达样本。

### (三) 阻剂 (光阻, 电子束光刻胶)

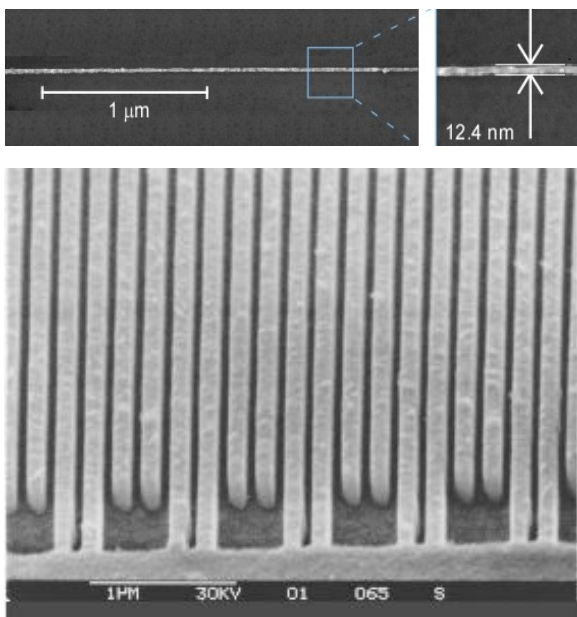
阻剂 (resist) 是转移电子束曝照图案的媒介。阻剂通常是以薄膜形式均匀覆盖于基材表面。高能电子束的照射会改变阻剂材料的特性, 再经过显影 (development) 后, 曝照 (负阻剂) 或未曝照 (正阻剂) 的区域将会留在基材表面, 显出所设计的微影图案, 而后续的制程将可进一步将此图案转移到阻剂以下的基材中。

PMMA (poly-methyl methacrylate) 是电子束微影中最常用的正阻剂, 是由单体甲基丙烯酸甲酯 (methyl methacrylate, MMA) 经聚合反应而成。用在电子阻剂的 PMMA 通常分子量在数万至数十万之间, 受电子束照射的区域 PMMA 分子量将变成数百至数千, 在显影时低分子量与高分子量 PMMA 溶解度的对比非常大。

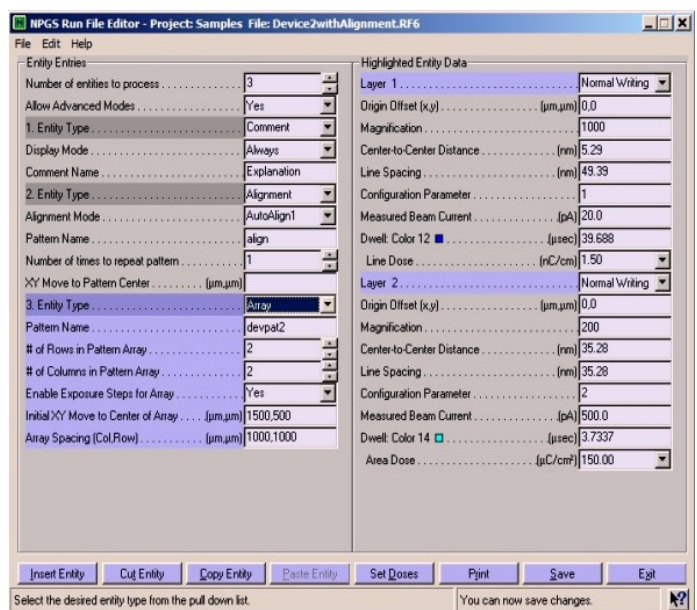
负阻剂方面, 多半由聚合物的单体构成。在电子束曝照的过程中会产生聚合反应形成长链或交叉链结 (crosslinking) 聚合物, 所产生的聚合物较不易被显影液溶解因而在显影后会留在基板表面形成微影图案。目前常用的负阻剂为化学倍增式阻剂 (chemically amplified resist), 经电子束曝照后产生氢离子催化链结反应, 具有高解析度、高感度, 且抗蚀刻性高。

#### (四) 基本工序 (参见流程图)

电子束微影曝光技术的基本工序与光微影曝光技术相似, 从上阻、曝照到显影, 各步骤的参数 (如温度、时间等等) 均有赖于使用者视需要进行校对与调整。



SEM+NPGS 典型成果图例



NPGS V9.0 控制软件界面

## 二. 应用简述

NPGS 电镜改装系统能够制备出具有高深宽比的微细结构纳米线条, 从而为微电子领域如高精度掩模制作、微机电器件制造、新型 IC 研发等相关的微/纳加工技术提供了新的方法。NPGS 系统作为制作纳米尺度的微小结构与电子元件的技术平台, 以此为基础可与各种制程技术与应用结合。应用范围和领域取决于客户的现有资源, 例如: NPGS 电子束曝光系统可与等离子应用技术做最有效的整合, 进行各项等离子制程应用的开发研究, 简述如下:

### (一) 半导体元件制程

等离子(电浆)制程已广泛应用于当前半导体元件制程, 可视为电子束微影曝光技术的下游工程。例如:

- (1) 等离子刻蚀 (plasma etching)
- (2) 等离子气相薄膜沉积 (plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD)
- (3) 溅镀 (sputtering)

### (二) 微机电元件制程 (Semiconductor Processing)

微机电元件在制程上与传统半导体元件制作有其差异性。就等离子相关制程而言, 深刻蚀 (deep etching) 是主要的应用, 其目标往往是完成深宽比达到 102 等级的深沟刻蚀或晶圆穿透刻蚀。而为达成高深宽比, 深刻蚀采用二种气体等离子交替的过程。刻蚀完成后可轻易以氧等离子去除侧壁覆盖之高分子。在微机电元件制作上, 深刻蚀可与电子束微影曝光技术密切结合。电子束微影曝光技术在图案设计上之自由度十

分符合复杂多变化的微机电元件构图。一旦完成图案定义，将转由深刻蚀技术将图案转移到晶圆基板。

### 三. 主要技术指标:

型号: NPGS

最细线宽 ( $\mu\text{m}$ ): 根据 SEM

最小束斑 ( $\mu\text{m}$ ): 根据 SEM

扫描场: 可调

加速电压: 根据 SEM, 一般为 0-40kV

速度: 5MHz (可选 6 MHz)

#### A. 硬件:

微影控制介面卡: NPGS PCI-516A High Speed Lithography Board, high resolution (0.25%)

控制电脑: Pentium IV 3.0GHz/ 512Mb RAM/ 80G HD/ Windows XP

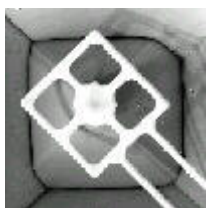
皮可安培计: KEITHLEY 6485 Picoammeter

#### B. 软件:

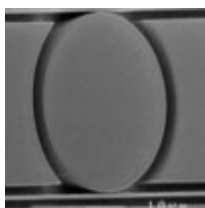
微影控制软件 NPGS V9.0 for Windows2000 或 XP

图案设计软件 DesignCAD LT 2000 for Windows

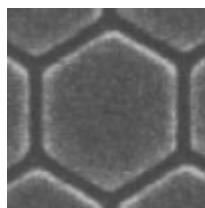
### 四. NPGS 微影图像画廊



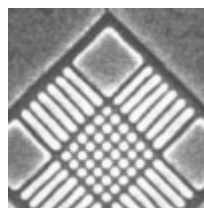
MEMS devices



Deep etch resonator



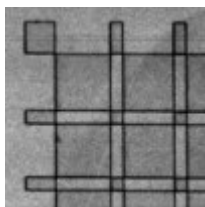
Hexagons grid



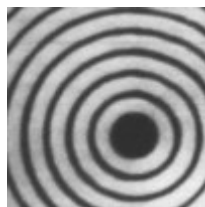
45 degree lines



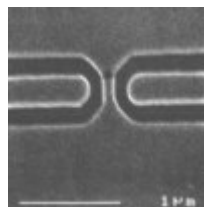
Logarithmic spirals



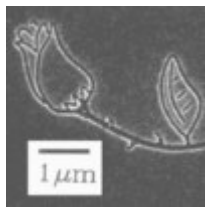
Dammann grating



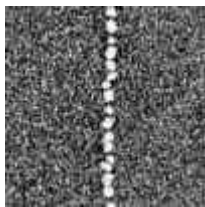
Circular grating



Split gate structure



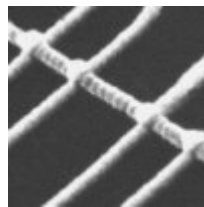
Rose



5 nm Au islands



Magnetic loops



Cu/Co multilayer wire



中国区代理: 南京覃思科技有限公司  
Tel: 025-85432178, 85432278 (Fax)  
Email: sales@tansi.com.cn  
Website: www.tansi.com.cn