

# 纳米级电子束直写曝光的基础工艺\*

刘 明 陈宝钦 王云翔 龙世兵 陆 晶 李 玲

(中国科学院微电子中心, 北京 100029)

摘要: 电子束光刻技术具有极高的分辨率, 其直写式曝光系统甚至可达到几纳米的加工能力. 本文重点对不同的抗蚀剂、电子束/光学系统的混合光刻及邻近效应修正等技术进行了研究.

关键词: 电子束光刻; 混合光刻; 邻近效应修正

EEACC: 2550G; 2570

中图分类号: TN305.7 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2003)S0-0226-03

## 1 前言

微电子技术的飞速发展在很大程度上归功于光刻技术与设备的不断进步. 光学光刻技术为集成电路的发展立下了汗马功劳, 通过改进光源和采用波前工程使其加工能力不断拓展. 目前, 主流光学光刻技术已接近  $0.13\mu\text{m}$  的光学极限. 下一代 (next generation lithography, NGL) 具有竞争力的替代技术主要有电子束光刻技术<sup>[1]</sup>、X 射线光刻技术<sup>[2]</sup>、 $13\text{nm}$  甚紫外 (EUV)<sup>[3]</sup> 光刻技术等.

电子束光刻技术具有极高的分辨率, 其直写式曝光系统可达到几个纳米的加工能力. 最近 Lucent 实验室提出的 SCAPEL 技术采用散射式掩膜技术, 将电子束的高分辨率和光学 stepper 的高效率相结合, 使电子束曝光系统展现出光明的前景. 据 Bell 实验室报道其加工能力优于  $0.08\mu\text{m}$ .

纳米科学技术是目前国际、国内的研究热点, 纳米加工技术更是微电子、MEMS 及纳米器件物理的基础技术, 正是微细加工技术的不断进步, 带动了微电子及其相关领域的飞速发展. 按加工尺寸而言, 微细加工技术可划分微米技术 ( $1\mu\text{m}$  以上)、亚微米 ( $800\sim 500\text{nm}$ )、深亚微米技术 ( $800\sim 500\text{nm}$ )、纳米

技术 ( $100\sim 1\text{nm}$ ). 纳米微结构一般指结构尺寸从几 nm 到百 nm 以下的低维量子体系. 人们常用 MBE、MOCVD、X 射线、离子束、电子束等技术制备各类纳米微结构. 电子束曝光技术是迄今分辨率最高的一种曝光手段, 是生产及研究集成光学器件、更高频 FET 器件、量子效应器件及超微细曝光的主导技术之一, 是目前国际上相当活跃的研究领域.

由于缺乏研究手段, 国内的电子束曝光工艺研究和国外有很大距离, 更难以深入到纳米量级. 1998 年, 中国科学院微电子中心首先引进了一套日本 JEOL 公司的 JBX-5000LS 电子束曝光系统, 其最小束斑  $8\text{nm}$ , 最小加工线宽可达  $30\text{nm}$ , 为开展纳米级电子束曝光工艺研究提供了有力手段<sup>[4]</sup>.

## 2 高分辨率电子束抗蚀剂的性能

电子束抗蚀剂的品种很多, 要根据不同的曝光图形需要采用不同的抗蚀剂. 根据实际需要我们主要研究了 PMMA 正性电子束抗蚀剂和 SAL601 负性电子束抗蚀剂的工艺条件. 经过大量实验总结出 PMMA 的工艺条件为:  $165\text{C}$  前烘  $30\text{min}$ , 曝光剂量选择  $380\sim 500\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 在  $20\text{C}$  的温度下用 MIBK : IPA = 1 : 3 的显影液显影  $1\text{min}$ , 再用 IPA 冲洗

\* 国家自然科学基金资助项目 (批准号: 69906006)

刘 明 女, 研究员, 从事微细加工和纳米技术的研究.

陈宝钦 男, 研究员, 从事微光刻技术研究.

30s, 在 80℃ 低温下烘烤 30min 以去除残余物质. 采用以上条件曝光出线宽 60nm, 周期 120nm 的图形. SAL601 是一种化学放大, 对烘烤温度要求很严格. 我们在实验中选用热板在 105℃ 前烘 2min 曝光剂量为  $8\sim 21\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 105℃ 后烘 2min, 用 SAL601 的专用显影液显影 4~8min, 最细曝光出 48nm 的图形.

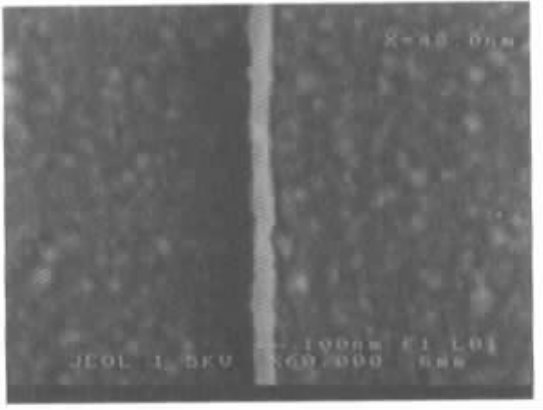


图 1 SAL601 抗剂曝光出 48nm 的图形

Fig. 1 48nm pattern exposed on SAL601 resist

### 3 电子束与光学系统的匹配与混合曝光技术

采用电子束曝光和光学光刻系统的匹配和混合光刻<sup>[5]</sup>是解决精度和扫描效率的矛盾的一种有效方法. 对 ASM2500 投影光刻和 JBX-5000LS 混合曝光技术, 关键技术是首先由 JBX-5000LS 电子束光刻系统制备供 ASM2500 投影光刻机曝光用的对准标记 W 和 5 倍 JBX-5000LS 电子束直写硅片识别标记 PQRS 和芯片识别标记  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ ; 对接触式光刻机和 JBX-5000LS 混合曝光技术, 通常要求电子束识别标记制造与实际芯片工艺兼容, 根据工艺流程设计, 采用剥离技术, 金标记可以与源漏工艺同时形成(如金钴镍标记), 或与栅工艺同时形成(如钛铂金标记), 而且需要同时制造接触式光刻人工对准标记  $M_4$ . 关键是保证标记剥离质量. 采用光学和电子束的混合曝光技术, 成功地研制出 70nm 的 CMOS 器件, 图 2 给出了该器件的 SEM 照片.

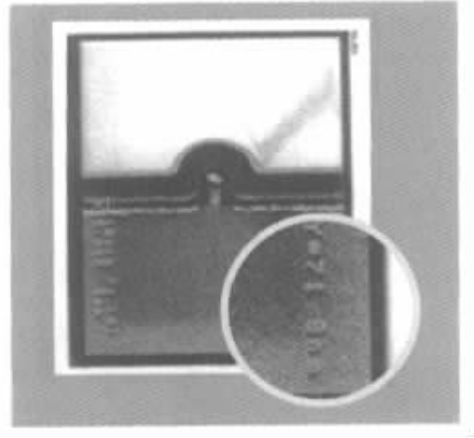


图 2 采用混合曝光技术制造了 70nm CMOS 器件

Fig. 2 70nm CMOS device fabricated by mix and match technology

## 4 电子束曝光邻近效应修正技术

### 4.1 几何尺寸校正技术

在版图设计时要根据邻近效应产生图形畸变的规律, 在图形容易发生形变的部位进行几何修正. 例如所有图形的外角进行外扩修正、内角内缩、外边外扩、内边内缩、密集图形缩小、邻近图形缩小、孤立线条加宽及小孔扩大修正等等. 该方法适用于比较简单的图形或规律性比较强的图形.

### 4.2 电子剂量调整技术

利用 CAPROX 软件根据图形的密集程度和 CD 尺寸把图形进行 64 级分割, 分别给予不同的剂量<sup>[6]</sup>. 图 3 给出了经过邻近效应修正和未经邻近效应修正图形的 SEM 照片.

## 5 结束语

电子束光刻技术有着广泛的应用前景, 将为集成电路产业、微波器件、声表面波器件、集成光学波导器件、光电子学器件、激光器件、超导器件、微机械及传感器等应用提供必要的基础技术和加工手段. 本文对电子束曝光中的基础技术如抗蚀剂工艺、混合曝光和邻近效应修正等技术进行了详细讨论, 成功地将该技术应用于纳米器件制造.

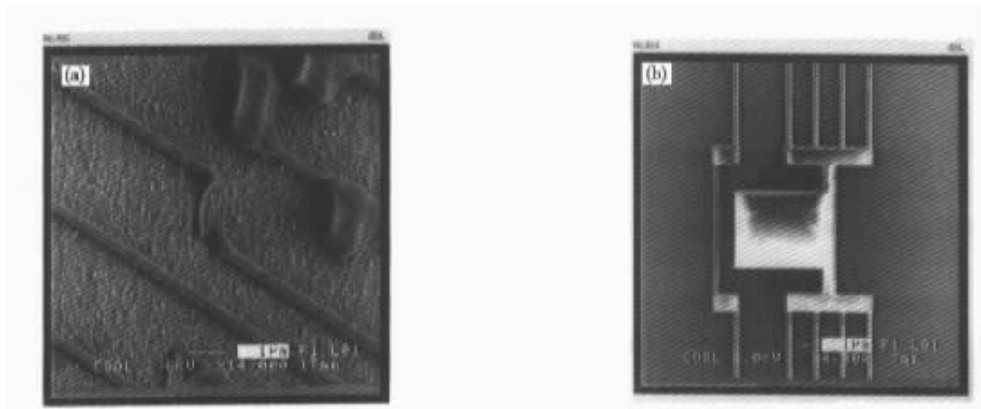


图 3 (a)没有经过邻近效应修正曝光出的图形;(b)经过邻近效应修正后曝光出的图形

Fig. 3 (a)Exposed pattern without proximity effect correction;(b)Exposed pattern with proximity effect correction

## 参考文献

- [ 1 ] Ghouhoury P R. Handbook of micro-machine and micro-fabrication. SPIE Optical Engineering press,1997
- [ 2 ] Smith H I. 100 years of X-ray: impact on micro- and nanofabrication. J Vac Sci Technol,1991,B9 (6):2996
- [ 3 ] Spence P A. System performance modeling of extreme ultraviolet lithographic thermal issues. J Vac Sci Technol, 1999,B17(6):3034
- [ 4 ] Liu Ming,Chen Baoqin,Zhang Jianhong,et al. Development trends of electron beam lithography. Microelectronics,2000, 2:117(in Chinese)[刘明,陈宝钦,张建宏,等.电子束曝光技术发展动态.微电子学,2000,2:117]
- [ 5 ] Liu Ming, Chen Baoqin, Zhang Jianhong, et al. Electron beam/optical stepper mixes and matches lithography. Journal of Function Material and Device,2000,3(6):341
- [ 6 ] Liu Ming,Chen Baoqin,Zhang Jianhong,et al. Proximity effect correction technology on electron beam lithography. Micron Fabrication,2000,1:16(in Chinese)[刘明,陈宝钦,张建宏,等.电子束曝光的邻近效应修正技术.微细加工, 2000,1:16]

## Fundamental Technique of Direct Writing Electron Beam Nano-Lithography\*

Liu Ming, Chen Baoqin, Wang Yunxiang, Long Shibing, Lu Jing and Li Ling

(Microelectronics R&D Center, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Electron beam lithography (EBL) is a specialized technique for creating the extremely fine patterns by the modern electronics industry for integrated circuits. In this research, the main attention is focused on the technology of positive resist-PMMA and chemically amplified negative resist-SAL601. The nano-level patterns are exposed by the above resists. E-beam/optical mix and match lithography is employed to improve the efficiency of e-beam lithography. Both resize the pattern and dose modulation are devised to minimize the proximity effect.

**Key words:** electron beam lithography; mix and match technology; proximity effect correction

**EEACC:** 2550G; 2570

**Article ID:** 0253-4177(2003)S0-0226-03

\* Project supported by National Natural Science Foundation of China (No. 69906006)

Liu Ming female, professor. She specializes in micron process technology and nano technology.

Chen Baoqin male, professor. His current research interests are photo-mask making and micro-process technology.

Received 16 September 2002, revised manuscript received 8 October 2002

©2003 The Chinese Institute of Electronics