

第一屆

全國電子束高壓光子束學術年會

論文集



半導體工藝設備編輯組

第 一 届
全国电子束离子束光子束学术年会
論 文 集

中国电子学会 生产技术学会 三束学组 于
半导体集成学会 三束精细加工学组

一九八〇年十月二十日至二十五日在长沙召开

一九八一年十月出版

前 言

近十多年来,由于大规模、超大规模集成电路和新型电子器件如声表面波、光集成、磁泡、电荷耦合等器件的不断发展,对芯片图形线宽、精密掺杂与薄膜生长的要求越来越高。原有的工艺设备,由于其固有的缺陷,已不能很好地适应这种微细结构发展的要求,因而一整套以电子束、离子束、光子束等微观粒子束为核心的新型微细加工技术便迅速发展起来了。围绕“微细加工”这一课题,国外不少公司、大学、厂家不惜耗费巨资从事研究。一系列不同于传统方法的新工艺、新设备相继诞生,以交流三束技术为中心的国际学术会议频频举行。大量事实表明,“三束”微细加工技术已成为当代进一步发展电子工业的关键。

为了促进我国“三束”技术的发展,中国电子学会生产技术学会专门成立了“三束”学组,中国电子学会半导体集成学会成立了“三束精细加工”学组。两学组于一九八〇年十月二十日至二十五日在长沙联合召开了我国第一届“三束”学术年会,国内从事“三束”技术研究与应用90个单位共242名代表参加了这次会议,会上共交流了学术论文134篇。大会还决定出版年会论文集,共评选出72篇有代表性的论文,由“三束”学组组长单位长沙半导体设备研究所负责编辑出版。我们根据大会的要求,在论文作者及其单位的大力支持与配合下,经过一年的努力,编印了这本论文集。

由于我们水平低、经验少、力量有限,在论文集的编审校对中,肯定会有不少缺点,甚至错误,欢迎作者、读者提出宝贵意见。另外,由于出版条件所限,某些图、公式、符号达不到作者要求,有些参考文献不得不采用译文,有的日文汉字则用中文简化汉字代替,也请作者、读者见谅。

编者

一九八一年十月

目 录

电子束

电子束投影曝光技术的进展和前景	(1)
电子束曝光的若干重要技术	(7)
DB—3 电子束制版机	(19)
高性能电子束图形发生器	(24)
变形电子束曝光系统设计	(30)
电子束曝光机光路系统的结构与精度分析	(36)
六硼化镧电子枪的初步实验	(42)
碳化钨阴极 (初步实验结果)	(47)
扫描电子束曝光系统透镜后偏转三级偏转象差的计算和分析	(51)
影响电磁扫描系统静态磁场的若干因素	(56)
电子束动态校零高速偏转放大器	(62)
电子束扫描长度不稳定性分析及改善	(66)
DB3—A激光干涉定位工作台	(71)
激光定位中的若干问题	(78)
电子束投影曝光系统通孔对准技术的研究	(85)
电子束投影成象系统中采用激光对准的原理和实验	(88)
电子束曝光机的拼图技术	(91)
电子束图形发生器控制系统的改进	(97)
制版语言在电子束曝光中的应用	(102)
电子束制版在微波功率器件中的应用	(107)
亚微米电子束无掩模光刻技术	(111)
电子束制版工艺及版图缺陷原因初步分析	(116)
用电子束曝光离子束刻蚀制作微细图形	(122)
正性电子抗蚀剂扫描电子束曝光性能研究	(127)

离子束

一个高频型溅射离子源	(132)
固体双等离子源	(138)
冷阴极潘宁离子源的改进试验以及在离子注入机上的应用	(146)
磁分析器磁铁漏磁的测量及设计	(151)
可供电子束离子束聚焦用的低球差Septier静电透镜特性	(156)

用于600KeV离子注入机的80KV高精度高压电源与600KV直流高压电源·····	(160)
用于离子注入机的光导纤维多路信号传输遥控遥测装置·····	(165)
高精度电荷积分仪·····	(169)
低中能离子束在表面分析中的一些应用·····	(177)
较宽能量范围内的理论溅射率公式·····	(182)
15厘米考夫曼型离子源的物理设计·····	(188)
刻蚀用多极场离子源设计与运行·····	(198)
离子加工用离子源的实验研究·····	(203)
用于制作亚微米栅砷化镓场效应晶体管的金属剥离方法·····	(210)
离子束刻蚀引起的硅表面损伤与沾污·····	(214)
等离子体反应溅射刻铝在声表面波器件制作中的应用·····	(220)
反应性溅射技术在锗酸铋, 铌酸锂, 石英等晶片上刻蚀沟槽·····	(223)
声表面波器件和气体轴承的离子束刻蚀·····	(227)
硅中注入高剂量氮·····	(232)
硼离子注入对绝缘层——硅系统电荷和介质绝缘性能的影响·····	(237)
对N沟硅栅E/DMOS电路中磷离子注入工艺参数的粗略考虑·····	(242)
离子注入法研制硅太阳电池·····	(247)
椭圆偏光法研究P ⁺ 、Al ⁺ 离子注入硅中的损伤分布·····	(252)
砷注入硅的不同波长激光退火·····	(255)
离子注入半导体激光退火机理·····	(258)
离子注入硅片的连续电子束退火·····	(264)
离子注入薄层的电子束退火·····	(269)
脉冲激光在离子注入退火中的应用·····	(274)
8—14微米Al ⁺ 离子注入碲镉汞光伏探测器·····	(279)
GaAs中硅离子注入的研究及器件制造·····	(285)
掺铬半绝缘砷化镓材料的硅离子注入·····	(291)
离子注入GaAs _{1-x} P _x 和激光退火·····	(297)
砷化镓中离子注入射程统计参数的计算·····	(302)
离子探针用于离子注入样品的定量深度分析·····	(306)
砷注入硅的激光退火和热退火特性·····	(313)
C波段微波功率器件研制中干法腐蚀工艺的应用·····	(317)

光子束及分子束

远紫外曝光·····	(321)
镂空硅掩模的制作技术及初步应用·····	(325)
聚酰亚胺——玻璃X射线掩模·····	(331)
提高紫外光直接接触复印光刻工艺分辨率的几种工艺方法·····	(336)
微细加工用激光器及工艺试验·····	(340)

高重复率YAG激光密封焊.....	(345)
多层绝缘与表面钝化的新材料——聚酰亚胺.....	(350)
分子束外延实验装置.....	(355)
用分子束外延生长GaAs单晶膜.....	(361)
用于MBE的反射式电子衍射仪.....	(367)
“直接调整式精密高压电源”研制报告.....	(375)
低能静电氩离子枪.....	(379)

电子束投影曝光技术的进展和前景

中国科学院电工研究所

张祥龄执笔

自从1968年美国O'Keeffe等人提出采用电子束投影成像曝光的方法制作集成电路以来,英、美、法各国都开展了研究,并取得了亚微米的高分辨率,但曾经由于畸变和对准等方面的技术困难,一度进展迟缓。最近英美等国进行了深入细致的研究,解决了很多难题,取得了很大进展。英国认为最高分辨率可达0.1微米,并已制出最细线条是2微米的8门双稳态 I^2L 电路,实际套刻精度优于1微米。最近荷兰也开展了此项研究,试制了8 Kbit移位寄存器,最细线条1微米。日本采用超导技术作聚焦线圈,研制成亚微米复印机。荷、英、飞利浦公司计划在83年左右推广到常规生产中去。美国电子束微加工公司新建了大楼发展这项技术准备交付海军使用。

我所于1973年开始进行这个项目的研究,目前曝光分辨率可达0.75微米,正在试制声表面波器件。在对准技术方面研究了通孔和激光两种方案,获得了初步的实验结果。

电子束投影曝光是大面积同时投影出高分辨率图象的一种光刻技术。在透紫石英玻璃制成的铬掩模版上溅射一层光电发射材料(钨或碘化铯),受紫外光照射后即在未被铬层掩蔽的部位上发射出光电子束。在真空中光电子受电场加速和磁场聚焦即按1:1成像在硅片(阳极)上。使硅片表面的电子抗蚀剂曝光(图一)。这种技术具有很多本质上的优越性:

(1) 非接触曝光:彻底排除了掩模损伤和硅片成品率的问题。

(2) 亚微米的高分辨率:理论上极限分辨率可达0.1微米,而焦深可达50~100微米。

(3) 可实现高精度自动对准:特别是可通过调节放大倍数来适应和补偿硅片的塑性变形,从而达到 ± 0.1 微米的高精度自动对准。而这种功能是光学和软X射线曝光技术所难于实现的。

(4) 大面积成像和高的生产率:成像面积的增加不影响分辨率和焦深。硅片规格已达4英寸,生产率为每小时几十到一、二百片。

(5) 较低的成本:是相类似的各种曝光和复制技术中最为经济的一种。

现就电子束投影曝光中的关键技术问题的指标和研究工作的进展讨论如下,

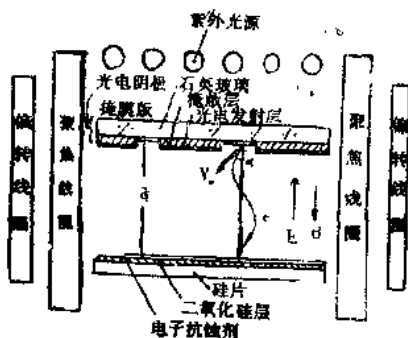


图1 电子束投影曝光原理图

(一) 实际达到的分辨率和理论上的极限分辨率

英、美各国的实验早已证实可达到0.2~0.3微米的高分辨率,而在实际集成电路的曝光中一般都达到0.5微米的分辨率。

我们在自己的实验中曾经曝光成功的最细线条是0.75微米的分辨率版(更高分辨率的原版我们至今尚未取得)。一般说来,目前我们可以在 $\phi 50$ 毫米规格的实验装置上取得1~2微米的均匀而稳定的曝光效果,均匀面积超过 $\phi 30$ 毫米。

根据电子束投影曝光的原理,可以通过三个环节的研究来探讨影响极限分辨率的因素:

(1) 光学衍射效应: 2537 Å 的紫外光通过石英玻璃照到掩蔽层(铬)和光电发射层(钨或碘化铯)时产生的衍射和光电子在光电材料中的横向扩散使分辨率损失400 Å 到600 Å 左右。

(2) 电子光学效应: 光电子按下列条件成象在硅片(阳极)上:

$$\sqrt{1 + \frac{V_0}{V}} \cos^2 \alpha - \frac{\pi}{Bd} \sqrt{\frac{2mV}{e}} = \sqrt{\frac{V_0}{V}} \cos \alpha$$

式中 V , B , d 分别是阴、阳极间的电位、磁感应强度和间距。 V_0 , α 分别是阴极表面光电子的初动能和发射角。根据电子光学象差分析可知这个系统中的极限分辨率与所选择的 V , B , d 及光源的谱线有关,大致在100~1000 Å 左右。

(3) 邻近效应和背散溅落现象: 由于背散电子跳出阳极使胶层曝光而产生邻近效应,它的影响范围可达1微米左右。这些电子在电场作用下重新溅落在阳极表面再次使胶层曝光而产生背散溅落效应,影响范围可达5毫米。由此而引起图象背景雾化都使分辨率降低。

在我们的实验中上述三种现象都有所反映,对这些因素进行理论和实验分析可以得出电子束投影曝光的极限分辨率,大致在0.1微米左右。

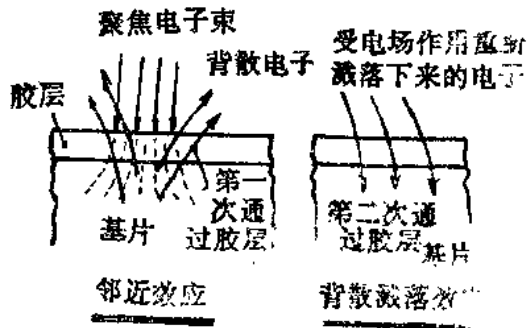


图2 邻近效应和背散溅落现象

(二) 背散溅落和邻近效应的消除和曝光线条尺寸精度的控制

这两种现象使实际电路曝光不同粗细线条时出现不同的尺寸误差。必须采取措施抑制这种效应或控制线条尺寸精度。

(1) 减少光电阴极掩模版中光电子发射区与掩蔽区面积的比例: 英Scott认为这个比例要小于30%才能实现带胶蒸发工艺;而大于五倍时很难获得满意的效果。

(2) 修改掩模原图的尺寸: 在电子束扫描制作光电阴极掩模时由计算机按经验公式或数据加以校正。荷兰采用这种方法制作 I^2L 双稳态电路时可以获得 ± 0.1 微米的控制精度。

我所现在因条件所限均未采用这些措施。光电阴极的发射区面积远远大于掩蔽区面积。但即使如此,只要精确控制曝光剂量还是可以使1.5微米线宽和间隔的声表面波器件图形得

到较好的尺寸精度。

(三) 产生畸变的原因和消除的方法

畸变是阻碍这项技术的重要障碍，它的存在、特别是不可重复畸变的存在必然引起对准和套刻的困难。畸变产生的根本原因在于磁场和电场的均匀性。

(1) 聚焦磁场的均匀性：它引起可重复的畸变，但法、日、英等国均努力提高磁场设计技巧，使不均匀性分别降到 10^{-4} ， 6×10^{-5} 和 3×10^{-5} ，相应的畸变量大致为 $0.5 \sim 0.3$ 微米。

虽然从聚焦的要求出发，因为焦深很长，所以聚焦线圈电流的不稳定性大约在 10^{-3} 左右就够了。但是从聚焦磁场均匀性的要求出发，各线圈间电流比的不稳定性至少应低于 10^{-4} ，不然会产生较大的畸变或分辨率的降低。

(2) 由偏转磁场引起的畸变：由于这种畸变的随机性和不可重复性，因此设计制作必须给以充分的重视，英国和我们一样都要求在千分之一以内，这样可使随机畸变不超过 0.12 微米。

(3) 由电场引起的畸变：硅片和掩模定位装置上的台阶和阳极表面电子抗蚀剂上积累的电荷都会引起畸变，但硅片的不平度是较难消除的不可重复的畸变， $20 \sim 30$ 微米的不平度可引起 1 微米的畸变，通过静电夹紧器可以减少到 0.25 微米左右。在我们的实验中对曝光的铬版进行了初步的检测，发现在 $\phi 50$ 面积上畸变量的标准偏差大约是 $2 \sim 4$ 微米。当前我们正在研究提高磁场的均匀性和进行静电夹紧的试验，来解决畸变问题。

(四) 对准技术的进展

精确地控制聚焦磁场各线圈间的电流比可以调节电子图象左右旋转或缩小放大，从而灵巧地完成掩模和硅片的精密对准。但国外由于同时伴随着的散焦超过允许值，使图象的电磁旋转对准没有成功。目前美、英、荷各国均采用精密机械转台来实现对准。但英Philips研究室依靠双线圈聚焦磁场中电流比的调整取得了放大倍数的精密控制，成功地补偿了硅片在工艺流程中因塑性变形而引起的对准误差。控制精度可达 ± 0.1 微米。应该认为这是电子束投影曝光技术中的重要进展。值得强调的是这种功能是当前克服大面积硅片工艺对准困难的重要手段，而这种手段是X射线曝光和任何光学曝光方法所难于实现的。

为了进一步提高对准精度和速度。美国在通孔对准系统中采用了电子自动准直仪使转台作独立反馈调节，从而使对准过程由 2 秒钟—— ± 0.4 微米或 5 分钟—— ± 0.1 微米提高到 $15 \sim 20$ 秒—— ± 0.1 微米。独立照明紫外光源的使用使曝光时间减少到每片 $1 \sim 2$ 秒。他们与EBES—1单束扫描机配合可以取得 $1 \sim 3$ 微米的套刻精度。

英国采用X射线信号对准方案已经达到 10 秒—— ± 0.1 微米的对准速度和精度。制作实际电路时套刻精度优于 1 微米。最近他们在磁泡器件制作中发展了荧光检测法，提高了信噪比，对准精度达到 ± 0.1 微米以下。

美国先后设计的实验装置有EPS—1010，EPS—1200，EPS—1500等若干台。法国的装

置用铁磁材料作聚焦磁场，手动对准精度为 $\pm 0.15 \sim 0.2$ 微米。英国在研究了 三台 2 英寸规格的设备后，已经研制出一台 4 英寸规格的生产样机。为了减少畸变将磁感应强度提高到 $8 \times 10^4 \text{ KA/m}$ ，电压为 20KV，并设计了自动送片机构和独立紫外照明光源，以便大大提高生产率和降低成本。日本采用 3000 高斯的超导磁体作聚焦线圈的复印机已取得 0.5 微米 的高分辨率。

（五）我所研究电子束投影曝光的现状

我所自 1973 年以来经过多年艰苦努力在各兄弟单位支持下取得了一定成绩。现已建立起两台实验设备。一台是 2 号机，由三线圈空芯磁体构成聚焦磁场，磁感应强度为 1060 高斯，由三台稳定度优于 1.5×10^{-4} 的直流电源供给。硅片或铬版的规格是 $\phi 50$ 毫米，阴阳极间距离为 10 毫米。加速电压是 10KV，稳定度优于 2×10^{-5} ，纹波小于 150 mV/p-p ，偏转磁场线圈和偏转放大器已经建立，目前正与 DJS—120 计算机及数模，模数系统配合进行通孔对准方案的研究。另一台设备是用铁磁材料为聚焦磁体的复印机，电子光学系统的参数与上述一台完全一样。规格也是 $\phi 50$ 毫米，或 50×50 毫米见方。两台设备上均配有自制的电荷积分仪。

光电阴极的镀钼工艺在自制的直流溅射台上进行，2~5 分钟一片，钼层厚度 $120 \text{ \AA}$ 左右。目前我们采用 10~20 瓦的低压汞灯（其中主要谱线是 $2537 \text{ \AA}$ ）在主机中的发射效率大致是 $0.2 \sim 1.5 \mu\text{A/cm}^2$ 。随着照明系统的改进，可望获得更为均匀和更强的发射。

在目前的客观条件下，我们取得的最高分辨率是 0.75 微米，至于较为稳定和均匀的结果则是在 $\phi 30$ 毫米左右的面积内取得 1~2 微米的分辨率。现在正与声学所合作研制声表面波器件，并进一步研究提高光电阴极的发射率和光源均匀照明，解决一次曝光中的畸变和溅射等效应，和合理使用抗蚀剂等一系列问题。这方面河北半导体所、长沙半导体设备所、北京电子管厂、我院半导体所提供了试验用掩模原版；无锡化工研究所、我院感光所、天津化学试剂所提供 PMMA 等多种试验用电子抗蚀剂，给我们工作以很大支持。

在对准技术方面，我们曾经进行过光电倍增管、电子倍增器，静电计管，正比计数器等多种弱信号检测器的实验，目前在通孔对准方案中使用的场效应管检测器可满足 10^{-11} 安微弱电子束流的检测要求并达到 0.2~0.4% 的稳定度，经和模数转换器及 DJS—120 计算机联调检测了主机中的光电子流信号。在改进了紫外灯电源后，光电流的稳定性达到 ~0.4% 左右。经过初步推算、检测精度可望达到 0.2 微米。最近由手动控制绘制了单孔对准的位置误差曲线达到 1.1 微米的对准精度。

为了探讨更为经济和灵巧的对准方法，正在运用单色性好的 He—Ne 激光作对准的探讨和研究，并在初步的台面试验中取得了成功。

目前正在设计新的设备以满足进一步研究工作的需要。

各国电子束投影曝光技术研究水平

附表

项目	指标	单位	美 国	英 国	法 国	日 本	中国科学院电工所	备 注
1	曝光面积 (mm ²)		φ75	φ50 (φ100)	φ50	φ100	φ50	
2	电压 (KV)		10	20, (20)	15	20	10	
	间距 (mm)		10	14,	6.25	5, 7.5, 10	10	
	磁场 (高斯)		1060	1000, (8×10 ⁴ KA/m)	2000	3000	1060	
3	聚焦线圈		三线圈	双线圈	铁磁体	超导线圈	三线圈, 铁磁体	
4	聚焦线圈均匀性		10ppm/2英寸*	3×10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	6×10 ⁻⁵ /φ90mm	10 ⁻⁴ /~φ20	*指磁场不均匀引起的象差
5	偏转线圈		圆形和方形	方形	／	／	方形	均为 Helmholtz 线圈
6	偏转线圈均匀性			10 ⁻³	／	／		
7	光源及谱线		低压汞灯 2537 Å	低压汞灯 1849 Å	低压汞灯 2537 Å	低压汞灯 1849 Å	低压汞灯 2537 Å	
8	光电阴极		钨 (pd)	碘化铯 (CsI)	钨 (pd)	碘化铯 (CsI)	钨 (pd)	
9	光电阴极发射率		>1.5~10 μA/cm ²	2~5 μA/cm ²		5~10 μA/cm ²	0.2~1.5 μA/cm ²	
10	曝光分辨率 (μm)		0.5	0.5*, (0.25*)	1	0.5~1	0.75~1	*荷兰 philips *英国 philips
11	对准信号检取和控制方法		电子束通孔 PDP-12 计算机	X 线 相敏, 模拟	X 线 手动	／	通孔, 计算机—激光, 模拟	
12	对准精度 (μm)		±0.1	±0.1	0.15~0.2	／	1.1	
13	套刻精度 (μm)		1~3	1 (无静电夹紧) 0.3 (有静电夹紧)		／	／	
14	曝光时间 (秒)		1~2	30~80*		1~15	~1 分钟	*荷兰 philips
15	对准时间 (秒)		15~20	10	5 分钟*	／		*手动对准
16	生产率 (实验室指标)		200 片/小时*	1 片/3 分钟*				*不计抽真空时间 *计及抽真空时间
17	生产率 (交货指标)		60 片/小时	120 片/小时				

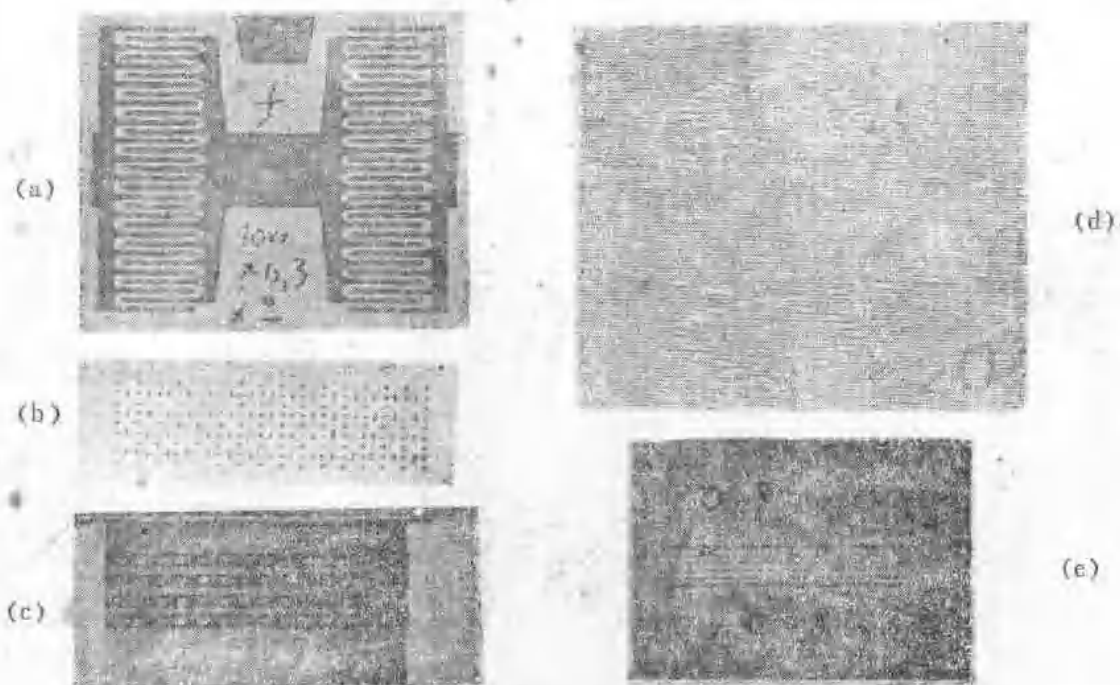


图3 科学院电工所电子束投影曝光照片

- (a) 高频器件最细线条 $2.5\mu\text{m}$, 间隔 $2.5\mu\text{m}$ (b) 高频器件 $2 \times 3\mu\text{m}$, $2 \times 4\mu\text{m}$
 (c) 高频器件最细线条 $1\mu\text{m}$, (d) 声表面波器件线条 $2\mu\text{m}$, 间隔 $2\mu\text{m}$,
 (e) 分辨率版线条 $0.75\mu\text{m}$, 间隔 $0.75\mu\text{m}$

参 考 文 献

1. T.W.O'Keefe et al, Advances in Electronics and Electrons Physics, Vol.28A, p.47
2. C.E.Fuller, et al, 8th Internat. Conf. Electron & Ion Beams, (1978)
3. T.W.Brill, et al, J. Vac. Sci. Technolog vol.16, No6 (1979)
4. C.E.Fuller et al, Abstract No238 of the 9th Internat. Conf. Electron & Ion Beams. (1980)
5. R.Ward, J. Vac. Sci. Technology, vol.16, No6 (1979)
6. W.R.Liversay, J. Vac. sci. Technology, vol.15, No3 (1978)
7. J.P.Scott, J. Vac. Sci. Technology, vol.15, No1 (1978)
8. B.Fay, Proceedings of the 6th Symposium on Electron & Ion Beams Science & Technology (1974)
9. P.J.Daniel, et al., Proceedings of the 11th Conf. on Solid state Devices Tokyo (1979)
10. 森一郎<电子材料>1980年别册

电子束曝光的若干重要技术

中国科学院上海冶金研究所

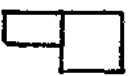
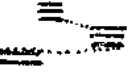
罗腾蛟

自日本电子公司研制的世界上第一台电子束曝光机于1967年问世以来,世界各国电子束曝光技术的发展相当迅速。在LSI、VLSI、声表面波器件和磁泡存储器的制版及对硅片的直接光刻上,它已越来越显示出其生命力。本文试就个人在国外工作学习情况,并结合所了解的某些动态,在一些关键技术方面简述粗浅体会。

一、曝光机在电子光学系统中的技术问题

众所周知,电子束曝光机是作为扫描电镜的应用技术而发展起来的IC曝光和制版设备。随着微细加工领域的电子束技术的不断发展,目前扫描方式已有矢量扫描和光栅扫描两种;电子束斑形状已从固定点束发展到可变点束、固定矩形束、可变矩形束或选择字符束等几种⁽¹⁾。表1则为这些形式的归纳。

表1 束的形状和扫描方式

	方式		扫描方式	图形 适应性	速度	复杂度	系统例子
束 的 形 状	点 束	固定		大	慢	简易	JBX-5A 日本电子 EBMF-2 (剑桥)
		可变		大	中	较复杂	
	成 形 束	固定		小	快	复杂	EL-1 (IBM) Electrocomposeur (Thomson-CSF)
		可变		中	快	复杂	EL-2 (IBM) JBX-6A 日本电子
	选择字符束			大	快	复杂	
扫 描 方 式	矢量扫描			大	快	复杂	VS-1 (IBM) EB-52 (ED)
	光栅扫描			中	慢	简易	EBES-2 (Bell) EBM-105 (东芝)

在各机种的电子光学系统的研制中，有不少特殊的技术问题必须着重考虑。

1. 扫描系统的种类及其设置的位置

在镜筒的设计中，最重要的一点是电磁偏转扫描系统的位置设置以及种类的选择^[2]，从事这方面研究的IBM公司H.C.Pfeiffer^[3]和E.Munro^[4]，日本理化学研究所的相马嵩^[5]和武藏野通研的竹内良亘^[6]等人都有不少论文发表。

就偏转扫描系统的位置而言，大体有如图1所示的六种模式。表2归纳了已发表的几种电子束曝光装置的扫描偏转系统。显见，目前多数工作方式仍为第一种后偏转系统。因为此方式结构较简单，清洗和安装容易，且计算方法也可简化。

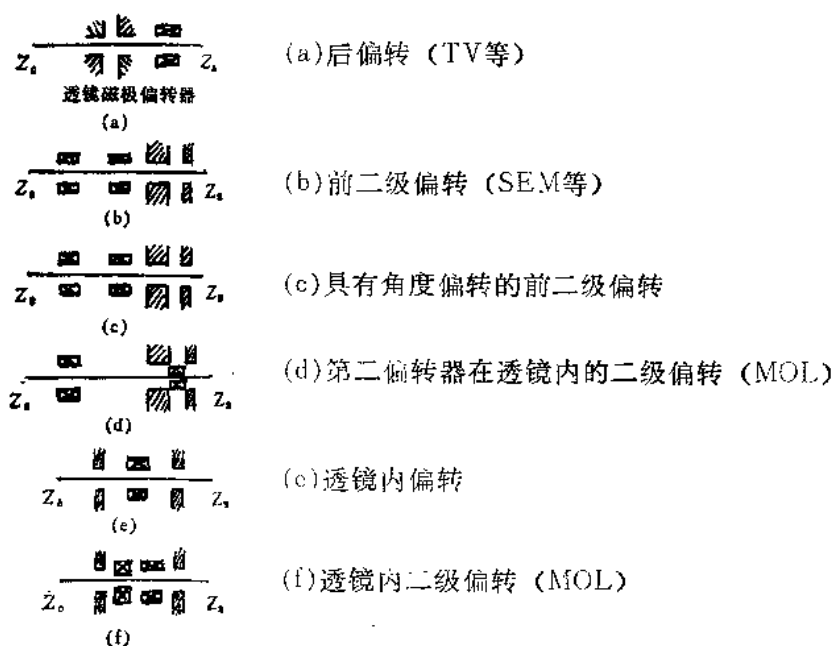


图1 聚焦扫描偏转系统种类

IBM的E.Munro 计算了上述各种模式的扫描偏转系统的偏转及透镜象散^[4]，证明了第四种方案可获最佳结果，并在EL-1 等机设计中采用。

当采用静电偏转板的后偏转系统时，其计算公式由图2 所示的模式可导出为：

$$y = \frac{lV_p}{2aV_a} \cdot \left[\left(L + \frac{l}{2} \right) - \frac{1}{2} \left(L + \frac{l}{3} \right) \cdot \left(1 - \frac{L}{b} \right) \right]$$

其中：a、b、l分别为两块偏转板的上下间距及长度；L为靶面和极板的最小距离； V_p 、 V_a 分别为极板电压及加速电压；y则为电子束在靶面上的偏转距离。

特别当采用平行偏转板结构时，上式可简化为：

$$y = \frac{lV_p}{2aV_a} \left(L + \frac{l}{2} \right)$$

在工程计算中，采用上述公式即能获满意的结果。

表 2

各机种扫描偏转系统的比较

机种	束斑形状	扫描* 方式	偏转系统**		扫 速	扫 描 范 围	研制或生产公司
			结构	位置			
J B X-5 A	点束	V	E	a	2 M	Max: $2 \times 2 \text{ mm}^2$	日本电子
J B X-6 A	可变矩形	V	E	a	500 KC	$2 \times 2 \text{ mm}^2$	日本电子
E B M-105	点束	L	E	e		Max: 256μ	东芝机械
E B-50	点束	V	E	a	5 M	Max: $2 \times 2 \text{ mm}^2$	武藏野通研
E B-52	点束	V	M	a	1 M	Max: $5 \times 5 \text{ mm}^2$	武藏野通研
V L-S 1	可变矩形	V	E	a		$2 \times 2 \text{ mm}^2$	日本超 L S I 共同研
V L-S 2	可变矩形	V	E	a		$2 \times 2 \text{ mm}^2$	日本超 L S I 共同研
V L-R 1	点束	L	E	b	20 M	Max: 250μ	日本超 L S I 共同研
V L-R 2	可变点束	L	E		30 M	Max: 250μ	日本超 L S I 共同研
E L-1	固定矩形	L	M/E	d	10 M	$5 \times 5 \text{ mm}^2$	I B M
E L-2	可变矩形	L	M/E	d	200 KC/15 M	Max: $4 \times 4 \text{ mm}^2$	I B M
E B E S-2	点束	L	M		20 M	256μ	Bell
M E B E S	点束	L	M		20 M	256μ	E T E C
E B M G-20	点束	L	M		20 M	256μ	Varian
E e ⁻ B E S-40	点束	L	M	b	40 M	256μ	Varian
E B P G-3	点束	V	M	b	10 M	$1.6 \times 1.6 \text{ mm}^2$	Philips
E P G 102	点束	V	M		2 M	$0.4 \times 0.4 \text{ mm}$	Thomson-CFS
Electro-composeur	固定矩形	L	E			$1.25 \times 1.25 \text{ mm}^2$	Thomson-CFS
E B M F-2	点束	V	M	b/a	2.5 M	Max: $4 \times 4 \text{ mm}^2$	Cambridge
E B M F-6	点束	V	M	a	6.4 M	$3.2 \times 3.2 \text{ mm}^2$	Cambridge

* V 为矢量方式, L 为光栅方式。

** E 为静电结构, M 为电磁结构, 位置按图 1 规定。

就偏转系统的种类而言,有静电方式和电磁方式两种IBM公司的EL—1和EL—2则采用了这两种方式的组合形式,即低速大幅度的电磁偏转和高速小幅度的静电偏转的结合〔7〕。对于两种方式的优缺点可简单列于表3。

从表2可见,日本普遍采用静电偏转方式,欧美国家则多数以电磁偏转方式为主。静电偏转方式工程设计方便,加工安装容易,静电沾污可通过防沾污设计和定期清洗解决,矛盾并不出突。适当限制偏转场尺寸可减小象差,并用计算机软件对扫描场进行逐点定位检测而进行畸变修正。速度比较快。而速度问题恰为实用中最大问题之一。

2. 电子束的漂移问题

所谓电子束的漂移是束斑随时间变化的位置变动。它成为在电子束曝光中扫描位置精度降低的重要原因。在通常制作掩模版时,往往需要数日连续使用机器,因此尽量在长时间里把电子束的漂移控制在最低限度是十分必要的。

电子束的漂移大体有两种,即长时间的漂移和短时间(在束关闭若干秒后再开启时发生的)漂移。实际现象如图3所示。

对于长时间的漂移,可采用软件修正方法进行补偿。即在已知位置的工作台某点上设置一个标记(例如硅片上刻制的标准记号或标准十字线等)。在曝光时,用调度命令,规定在曝光完第 n 个子图形后,命令工作台标记移到中间位置,用反射电子定位检出标记实际位置,并与已知位置比较,即得出此刻的束漂移值,送至计算机进行束的位置修正。这种方法称为“原点检验”。图4是此方法的示意图。

电子束关闭后再开启所发生的短时间漂移问题是一个比较难以解决的技术问题。电子束的漂移往往是由于下列原因引起的。即:

- (1) 电子枪灯丝的位置随时间的变化;
- (2) 偏转扫描系统的电稳定性;
- (3) 镜筒内部的充电;
- (4) 工作台移动停止后的微小变动;

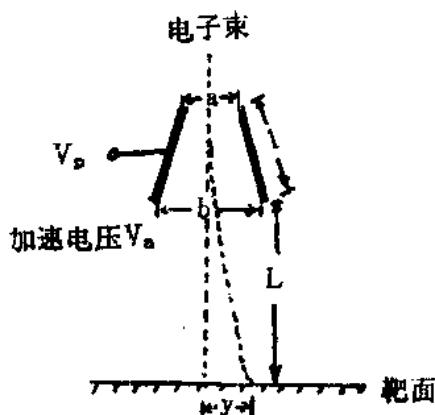


图2 静电偏转板尺寸示意图

表3 静电和电磁方式的比较

		静电偏转	电磁偏转
象	差	大	小
磁	滞	小	大
扫	速	快	慢
沾	污	有	无
偏转器加工		简单	杂复

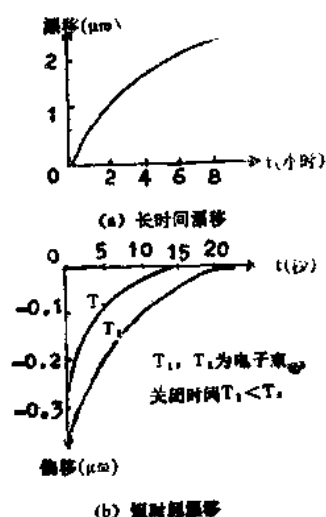


图3 电子束的漂移

(5) 各种镜筒电源(高压和透镜电源等)的电稳定性。

对于短时间漂移问题,一般的看法都归结为镜筒内部的充电。有人作了在镜筒清洗前后的电子束漂移的实验〔8〕,其结果证明了在清洗前的束漂比清洗后束漂为大。此外,也发现随着束关闭时间的增加,束漂也大。

为改善此现象,应对易引起充电的部分进行改进。光阑的沾污是其中最重要因素之一。原则上可采用电子束本身的能量进行自清洗,但有些机器束的能量不足以使光阑上的沾污物除去,必须从结构上进行改进

作为弥补的方法之一,可先在束通过后扫描一个无关紧要的图形,然后再正式曝光。这种方法用时间的损失换取图形精度的提高。

3. 可变矩形束的尺寸测定问题

可变矩形束曝光机是目前曝光速度最快的机种。该方式中,束的整形性、方向性和可变尺寸的正确测定和调整是非常重要的。一般在测定矩形束时采用比较经典的“刀刃法”

(Knife edge method)〔9〕。即在工作台上放置一个笼形法拉第筒,在筒上安放一个刀刃,让束在其上面按X和Y方向扫描,在观察电子束电流密度轮廓的同时,对上、下成形光阑的位置、正交性、合轴电流、透镜电流及控制电子束形状尺寸的极板电压等进行调整,从而获得良好结果。

JEOL的JBX—6A机中则采用“十字交叉线”方式。用直径为 $30\mu\text{m}$ 的钨丝制成,正交精度在 $1'$ 以下。安放在吸收电流用的法拉第筒上面,该测定装置固定在工作台上,且与移动工作台的反射镜平行(精度在 $1/500\text{rad}$ 以下)。在电路的信号处理上则采用“二次微分法”。如图5所示,(a)是电子束的扫描信号,(b)表示在法拉第筒检出的电子束电流信号,(c)是该信号的一次微分,这个波形即为整形的电子束在扫描方向上的电流分布,(d)则是(c)的又一次微分即二次微分信号,该脉冲信号的高度和宽度表征了束的方向性和整形性,由该信号可得(e)所示的整形信号, l_1 和 l_2 值可通过接口送到计算机中测定,从而正确求得电子束的尺寸和位置。

4. 可变矩形束光源象的移动问题

在可变矩形电子束曝光装置中,当对电子束进行各种尺寸整形时,不能让光源象移动以提高图形的扫描精度是极其重要的。图6是JBX—6A的电子光学系统及矩形束的整形原理图〔10〕。电子光源象在整形偏转板上成象,它经过整形透镜及缩小透镜缩小,在投影镜中

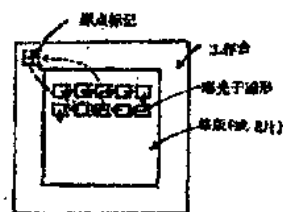


图4 原点检验

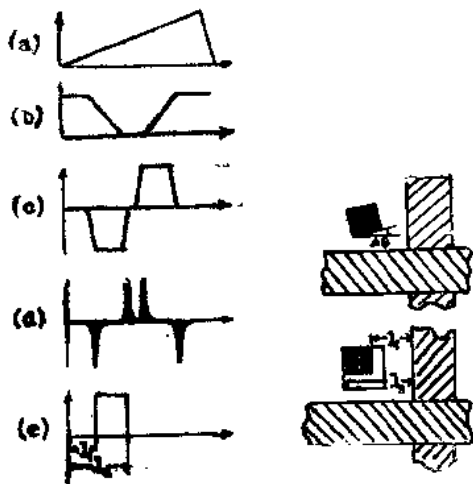


图5 束的自动测定方法