



DOI: 10.16257/j.cnki.1681-1070.2019.0812

Nikon 光刻机激光步进对准系统研究

罗 涛

(上海新进芯微电子有限公司, 上海 200240)

摘要:介绍了 Nikon 光刻机最常用的对准方式,即激光步进对准(LSA)。从基本的光学系统出发,介绍了 LSA 在 Nikon 光刻机中的作用,搜索和增强型全局对准(EGA),详细阐述了 LSA 的工作原理及其对工艺的影响,最后介绍了 LSA 对准系统的技术指标和作用。

关键词:对准; LSA; 标记; 指标

中图分类号: TN305.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1681-1070 (2019) 08-0044-04

中文引用格式: 罗涛. Nikon Laser Step Alignment 对准系统研究[J]. 电子与封装, 2019,19 (8): 44-47.

英文引用格式: LUO Tao. Research on laser step alignment system of Nikon stepper [J]. Electronics & Packaging, 2019,19(8): 44-47.

Research on Laser Step Alignment System of Nikon Stepper

LUO Tao

(Shanghai BCD Semiconductor Manufactures Co., Ltd., Shanghai 200240, China)

Abstract: Laser step alignment (LSA) is the most familiar alignment style in Nikon stepper. The function of the LSA system in Nikon stepper is introduced, and then the search algorithm and enhanced global alignment (EGA) algorithm are presented. The principle of the LSA system and the effect of the lithographic process are described in detail. Finally, the specification of the LSA system is introduced.

Keywords: alignment; LSA; mark; specification

1 引言

光刻机是集成电路生产中最关键的设备之一,在整个集成电路生产过程中占据重要的地位。光刻机对准系统的精度控制决定了集成电路的复杂度。一个完整的 IC 制造流程,需要曝光十几到几十层,在这些层次中,除第一层外都需要在曝光之前做对准,因此对准精度直接决定了产品的良品率。Nikon 光刻机对准^[1]有激光步进对准(LSA)、场成像对准(FIA)、激光干涉对准(LIA)以及早期设备配备的硅片增强型全局对准(WGA)等几种方式。LSA 和 FIA 目前使用最多,LSA 一般适用于对准标记比较清晰、对比度高、表面图像

清晰的层次,反之则选取 FIA。本文从基本光学原理出发,详细介绍了 LSA 系统的设计原理、光刻工艺设计要求、对准算法及设备指标要求和相关调整。

2 Nikon 光刻机对准系统介绍

Nikon 光刻对准系统大体可分为预对准和对准。预对准分一次预对准和二次预对准。一次预对准主要包括硅片找平边(或者是缺口),硅片定圆心。一次预对准完成,手臂会将硅片送到工作台上进行二次预对准。二次预对准进一步对硅片进行定位,这个定位的主要目的是对不同光刻机曝光的硅片进行匹配,用以满足后续对准要求。

Nikon 对准方式包括两个步骤: 搜索 (search) 和 EGA。两个步骤都需要在前层上做好标记, Nikon 称为 search mark 和 EAG mark, 并且两组标记按照 Nikon 标准设计, 以便设备可以识别和进行相应的计算。无论选择 LSA 还是 FIA, 都要做搜索和增强型全局对准。由于 LSA 和 FIA 两个对准系统的工作原理不同, 在曝光不同层次时, 根据所曝光的层次选择不同的对准系统。一般来说对于表面图像清晰的层次如金属前选择 LSA 系统, 而对于表面图像清晰度不高的层次如金属层选择 FIA 系统。本文主要介绍 LSA 对准系统。

3 LSA 对准系统介绍

3.1 LSA 系统概述

一个完整的 LSA 系统^[2]涉及 LSA 激光器、LSA 光路、LSA 探测器以及工作台干涉计数器和相应的信号处理。图 1 是 LSA 光学系统原理图。He-Ne 激光器发出的激光通过一个光孔, 入射到一个偏振分光棱镜上, 通过偏振分光棱镜光被分成相互垂直的两束偏振光, 两束偏振光分别进入 X 方向和 Y 方向对准光路系统。进入 X 方向和 Y 方向对准光路的光通过投影物镜到达工作台硅片上对准标记上, 光到达对准标记后进行衍射, 形成 $0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 阶衍射光。衍射光通过光路返回到光学滤波器, 通过光学滤波器后只留下 ± 1 阶衍射光, ± 1 阶衍射光到达探测器后进行数据采集, 将此数据送到硅片对准数字信号处理系统 (DSP), 硅片对准 DSP 同时参考工作台干涉计数单元数字信号, 计算出硅片上对准标记的具体位置。

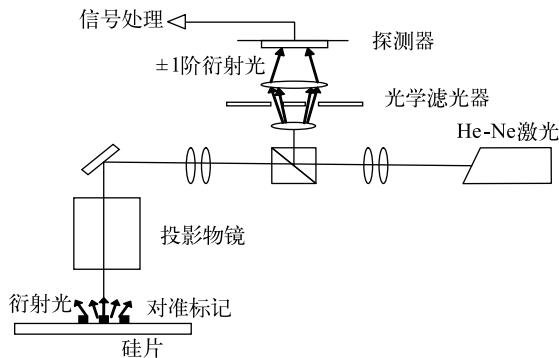


图 1 LSA 光学系统结构图

3.2 LSA 对准测量原理及标记设计要求

LSA 搜索标记如图 2 所示, 工作台沿图示方向扫描时, LSA 光斑遇到对准标记组成的衍射光栅, 在光栅上发生衍射, 衍射光通过对准光路反射回探测器, 探测器通过检测 ± 1 阶衍射光的强度, 得到如图 2 所示

信号, 同时工作台干涉计通过脉冲计数得到对准标记的位置。

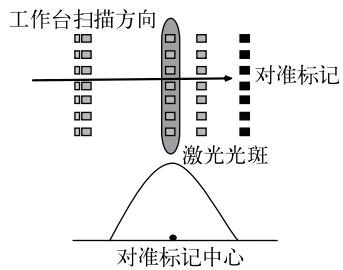


图 2 LSA 信号获取方式

如前所述, Nikon LSA 标记^[3]分为搜索和 EGA 两种^[4]。搜索需要选取硅片上两个位置的标记, 通过工作台运动扫描, 信号处理最终可以计算出硅片的旋转。按照图 2 的画法, 此组标记对应于 X 方向标记, Y 方向标记和 X 方向标记相互垂直。Nikon 允许搜索标记设计成 3 种类型, 不过现实使用过程中为了防止设备误将其他图形识别成对准标记, 发生搜索计算出错, 一般都设计成 3 根结构的对准标记。对准标记的栅格是 $4 \mu\text{m}$, 栅格间隔也是 $4 \mu\text{m}$, 每组标记如图 2 中排列, 由 7 个栅格组成。3 组光栅间隔分别是 $20 \mu\text{m}, 26 \mu\text{m}$ 。

做完搜索对准, 计算好硅片的旋转, 工作台进行相应的补正后开始做 EGA。EGA 的标记有两种, 一种是单根标记, 另一种是 7 根排列。EGA 对准可以计算出硅片 X 和 Y 方向的偏移量, 图形的扩大和缩小程度, 整个图形的旋转用于校正掩模版旋转带来的误差和图形的正交性。当然要计算出这些数据, 至少需选择 4 个以上的对准标记, 并且这些对准标记最好分布在靠近硅片边缘的一周。

3.3 LSA 搜索算法

LSA 搜索的目的是计算工作台上硅片的中心位置, 以及校正硅片的旋转。硅片旋转的校正是通过数次计算机计算以及工作台 THETA 马达的移动来完成的, 最终使得硅片旋转小于 $300 \mu\text{m}$ 。搜索标记一般是 3 根 (见图 3), 搜索标记是前一层曝光显影及刻蚀留下来的图形。一般情况下, 可以通过选取硅片上靠近硅片边缘, 且处于同一水平阵列的两个曝光视场中的两个搜索标记来做硅片搜索, 一般靠左的定义为 Y, 靠右的定义为 Theta。

Y 和 X 搜索标记如图 4 所示。硅片搜索首先要做的是计算及矫正硅片旋转, 搜索开始工作台运动到程序设定的 Y 坐标位置, 做 Y 搜索, 得到当前标记的具体坐标值 (x_1, y_1) , 然后做 Theta 搜索, 得到 Theta 标记的具体坐标值 (x_2, y_2) 。通过两个坐标值计算出硅片旋

转量,然后 Theta 工作台旋转,再次做 Y 搜索和 Theta 搜索,计算硅片旋转量,直到旋转量在 $300 \mu\text{rad}$ 以内,完成硅片旋转校正。当然在这个过程中,为了提高产能,奇数次搜索顺序为 Y 到 Theta,偶数次为 Theta 到 Y。

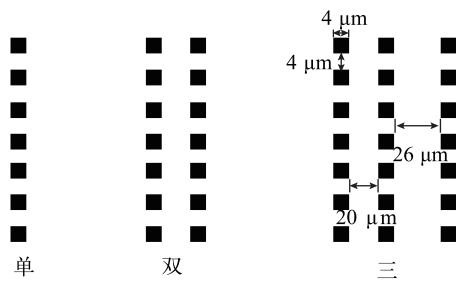


图 3 LSA 搜索标记

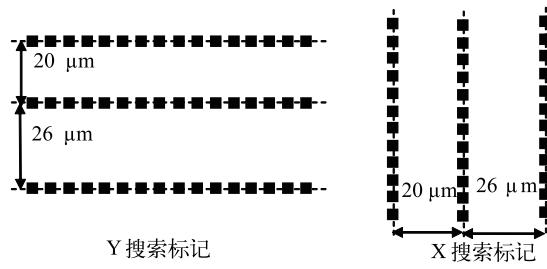


图 4 Y 和 X 搜索标记

完成了硅片旋转的校正后,做 X 搜索,此目的是为了得到硅片的中心位置。X 搜索也是选择上面的 Y 和 Theta 的曝光场。计算硅片中心仅需要选择 Y 和 Theta 中的任意一个曝光场就可以了。Nikon 光刻机在进行 X 搜索时,通过另一个曝光场的 X 搜索可以计算出硅片涨缩(wafer scaling)。

图 5 截取了某产品 LSA 的搜索标记和搜索对准的过程,左边图为 FIA-Y 显微镜下 Y 的标记,可以看出,考虑不同设备之间的匹配问题,以及预对准精度不高的问题,在工艺设计的时候就将 Y 标记设计的比较长,保证可在大范围内搜索到此标记。结合右边光刻机搜索的过程可以看出,在 Y 和 Theta 比较接近,即硅片旋转量在 $300 \mu\text{rad}$ 以内时,完成 Y 和 Theta 搜索,做搜索 X 对准,X 搜索完成即进行 EGA 对准。

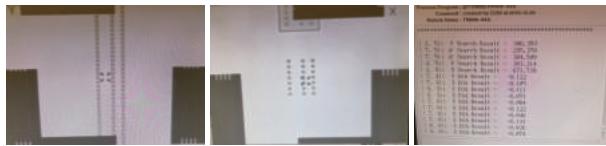


图 5 搜索标记和搜索过程

3.4 LSA 精确对准算法

Nikon 光刻机精确对准也称为 EGA, EGA 的实

现是在硅片旋转^[5]、硅片中心以及硅片涨缩数据已知的条件下完成的。LSA EGA 标记分为单根和多根,多根是指 2~7 根,并且每种标记包括两个标记,X 标记和 Y 标记。图 6 为两组典型的 EGA 标记。

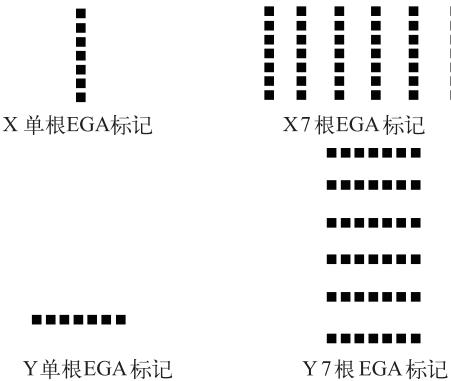


图 6 EGA 标记

EGA 对准要选择至少 5 个曝光场,并且要求 5 个曝光场尽量分布在硅片的边缘,并且为完整的曝光场。如选择 5 个曝光场,EGA 对准通过计算 5 个 EGA 标记的位置,最后计算出硅片偏移(wafer offset),硅片涨缩(wafer scaling),硅片旋转(wafer rotation),硅片正交(wafer orthogonality),如果选择多根 EGA 标记,后续还可以得到更多信息^[6],如曝光场旋转(shot rotation),曝光场涨缩(shot scaling)。曝光场的旋转可以通过掩模工作台干涉计旋转来矫正,曝光场涨缩可以通过镜头控制单元控制镜头倍率来校正。

图 7 截取了某产品 LSA 的 EGA 对准标记和 EGA 对准过程及结果。由于 X 和 Y 分别使用 FIA-X 和 FIA-Y 显微镜,且两组显微镜相互垂直,所以图 7 标记和图 6 标记有所不同。经过搜索对准后,EGA 标记位置比较小,对比图 5 和图 7 最右边图,可以发现坐标偏离从几百微米控制到几十纳米量级。此产品选取了 8 个曝光场作 EGA 对准,通过 EGA 计算得到前层硅片偏移量、硅片涨缩、硅片正交、硅片旋转以及曝光场旋转和曝光场涨缩。在曝光开始前上位机通过计算将需要补正的参数值传输到下位机,保证当层与前层套偏量为零。



图 7 EGA 标记和 EGA 结果

4 LSA 对准系统指标

4.1 LSA 垂直度和聚焦指标

LSA 对准系统为同轴对准系统,在设备安装调试完成时,需要完成一定的精度调试。首先要确认激光入射垂直度,LSA X 或者 Y 方向激光通过 LSA 入射光学系统到曝光物镜,再通过物镜入射到基准标记或者硅片对准标记。如果 LSA 对准光学系统不垂直,衍射光通过信号处理,最终得到的测量坐标和真实坐标就会有一定的偏差,在进行 EGA 计算时,各个补正值都有一定的偏差,当然偏差最大的主要是硅片偏移量。Nikon 光刻机 LSA 垂直度测量是通过工作台 Z 轴自下而上运动,计算出标记的位置,通过位置换算得到入射到标记上的光轴的偏移量。通过调整光路中的光学棱镜,使得这个偏移量小于 3 mrad。

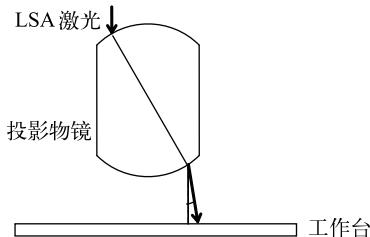


图 8 LSA 垂直度示意图

另一方面通过工作台 Z 轴自下而上运动,信号处理单元通过计算不同位置上标记的宽度,可以得到最小的宽度,进而得到 LSA 系统的离焦量。对于 LSA 系统的离焦量,可以调整探测器前的一组聚焦物镜,使得离焦量在 1.5 μm 。

4.2 LSA 光斑旋转指标

LSA 光学系统除了要满足一定的垂直和聚焦要求,入射到基准标记上的光斑还必须要和基准标记平行,不能有旋转。如果光斑有旋转,测量坐标和真实坐标就会有一定的偏差,最终会导致 EGA 补正值产生偏差,影响套刻精度。

图 9 为光斑旋转示意图。Nikon 光刻机 LSA 光斑旋转测量通过重复计测标记两端的标记,通常在软件中设置相关的参数,使得光斑只扫描末端的两个标记块,且两端要分别计测。通过分别计测两端的标记宽度,来表征 LSA 光斑旋转量。可以通过调整 X 和 Y 相关的一组柱面透镜,使方向光斑旋转量在 3 μrad 以内。

在完成 LSA 垂直度、聚焦以及光斑旋转量调整

后,还需要进行 LSA 的重复性测量,重复性测量就是计测到当前基准标记的位置,一般设置 30 次的计测数,如果计测数据 3sigma 大于 5 nm,说明 LSA 光学系统调整不合格,需要重新对以上指标进行计测调整。

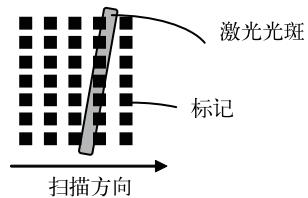


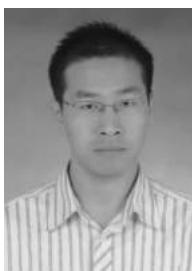
图 9 光斑旋转示意图

5 结论

LSA 对准系统作为 Nikon 光刻机中使用最多的对准方式,不仅在曝光中使用,在 Nikon 光刻机的很多精度测试,如工作台步进精度、镜头成像等指标计测时都要使用。从基本光学系统出发,介绍了 LSA 系统工作原理、技术指标和设备调整要求,同时详细介绍了对准参数指标的意义。研究结果对于产品工艺设计和生产工艺维护都有重要的参考意义。

参考文献:

- [1] 何峰. Nikon 光刻机对准系统概述及模型分析[J]. 电子工业专用设备,2009,38(4):8-12.
- [2] 宋健. NSR-1755i7A 投影光刻机自动对准故障分析[J]. 电子工业专用设备,2008,37(2):1-3
- [3] 严利人. Nikon 光刻机对准机制和标记系统研究[J]. 微细加工技术,2002(3):44-47
- [4] 梁友生. 光刻机精细对准方法研究[D]. 成都:四川大学, 2005.
- [5] 陈德鹏. Nikon 步进重复光刻机的对位机制[J]. 微处理机, 2009,30(6):1-3
- [6] 陈光毅. NIKON SCANNER 同期精度控制方法的研究与实现[D]. 大连:大连理工大学,2014.



作者简介:

罗 涛(1984—),男,陕西人,光学硕士,工程师,主要从事半导体光刻制造工作。