

# 200mm硅晶圆制造的自动化技术机遇

半导体制造业正面临着不断变化着的商业需求，需要在新产品及其设计上有所创新，以满足业界对硅片制造越来越严格的要求。从总体上来说，200mm的硅晶圆厂，包括中国目前在建的新工厂在内，都还没有广泛采用已在300mm硅晶圆工厂应用的最先进的自动化技术，如高架提升传输系统(OHT)和自动物料搬运系统(AMHS)等技术。然而，上述这些技术在200mm硅晶圆厂已经开始显现出一个明显的发展趋向，即在200mm硅晶圆成套设备中将会采用更为新型的材料、工艺和自动化技术。进一步推动这一发展趋向的因素有如下几个方面：首先是它对200mm硅晶圆制造设备具有引人注目的在资金投入成本上的优势，其次是它对200mm硅晶圆制造设备所具有污染控制能力，最后是在配备了标准机械接口装置(SMIF)后在制造方式上所具有的优势。

## 半导体制造自动化的进展

回顾一下半导体制造业采用自动化技术的历史将有着重要的意义，可以此为借鉴，来思考如何改造新建的或经翻新的200mm硅晶圆厂，以进一步提高工厂产品的生产率和良品率，进而增强这些硅晶圆厂在全球市场上的竞争力。在半导体产业的初始发展阶段，硅晶圆厂都是采用人工方

式来传递硅片，随后发展到O型环状传送方式，最终发展到硅片盒升降机搬运方式。对硅晶圆和硅片盒尺寸所制订的第一个标准使得自动化系统的设计者可以开发出独特的机械装置和专门设计，来将其作为提高生产率的第一步。然而这些装置的设计通常显得十分复杂，需要为特定的硅晶圆制造商进行专门的定制，并且由于其制作批量很小，要真正实行自动化将是十分昂贵的事情。

随着产业规范和标准的制订变得日趋完善，以及独立的设备供应商进行了公司间和工艺技术上的兼并，200mm硅晶圆成为了硅衬底的一种标准性选择。受到摩尔定律的推动，硅晶圆厂需要有更为严格的在洁净度和产量上的要求，以提高其产品的良品率、生产率和降低其成本。到了200mm硅晶圆这一技术节点时，才首次产生了具有真正意义上的自动化系统来装载和传送硅圆片。

在上世纪80年代初的半导体产业发展阶段，硅晶圆上的颗粒污染以及工艺设备中的硅晶圆装载搬运区域是器件生产过程中导致良品率下降的主要因素。为了解决这个问题，起初采取的措施是在整个硅晶圆厂工作间内采用多种级别的空气净化措施，使其达到从1000级、到10级或者甚至达到1级的空气净化级别。然而，要在整个厂区内维持这种高的空气净化级别已被证明在经济上将是不堪重负的做法。

由Mihir Parikh博士所领导的惠普公司研发工程师团队构思了一种系统性的解决方案来应对这种来自洁净

度的挑战，即只在工艺设备的周边区域形成一个洁净空间，采用可密封的容器在工艺设备和量测设备之间进行半导体晶圆的相互传输。在这种基于采用标准机械接口(SMIF)的技术中，每个硅片容器与设备中的硅片盒传递站台相对接，可从硅片容器中将硅片盒传送到工艺设备上的硅片盒分拣器中。由于硅晶圆厂在建造和运行大面积1级净化厂区面临着高成本的困惑，使得它们对上述新技术产生了浓厚的兴趣，并且已经开始采用了这种新技术。

为此，原始设备制造商(OEM)们就创建了一种新型的公司，如Asyst Technologies公司(它现在是Crossing Automation公司的一部分)，目的就是为开发一种能对颗粒污染实行隔离的实际解决方案，即通过设计制作硅片容器、机械装置以及晶圆批次追踪系统，来将硅片产品实现局部隔离化这一原则投入到实际应用。除此之外，IC制造商和OEM商们还与国际半导体设备和材料协会(SEMI)合作，制定了一系列的机械接口标准，这些初步制订的标准可以应对各种不同工艺设备接口解决方案的开发。

200mm硅晶圆的发展阶段是从1989年开始的，当时IBM在多个工厂中建立了200mm硅晶圆的生产能力，由此在IC界确立了它的领先地位。在那时，第一代200mm硅晶圆的标准机械接口(SMIF)装置产品也开始进入市场。这些装置产品的设计不但可以满足IBM公司成套设备的需求，也符合所有其他产业设备

Anthony C. Bonora, Vice President of  
Advanced Technology Carl McMahon, Director  
of 200mm Business  
Crossing Automation, Inc.

的标准。经与关键 OEM 厂商之间互动所产生的结果，是形成了经整合集成的标准机械接口 (SMIF)，这对扩大 SMIF 方案的成功实施是至关重要的，这种解决方案已经在台湾多个半导体制造代工厂中获得了广泛的应用。

到了上世纪 90 年代中期，很多硅晶圆厂已经在各个单元工艺区间开始安装箱式硅晶圆储存系统，但是几乎没有人来关注在工艺设备上硅晶圆的装载问题，以及如何通过对工艺加工中的硅片 (WIP) 进行自动补充来优化工艺设备的利用率问题。随着 300mm 硅晶圆的出世和前开式统一标准硅片箱 (FOUP) 的应用，工艺设备就必须要实现硅片装载的自动化。从人类工程学的角度看，由于前开式硅片箱 (FOUP) 的重量已无法再人工方式来进行搬运，所以采用相对较为昂贵的高架提升传输 (OHT) 方式的自动化装置已经成为了标准配置。考虑到在这方面的进展，对较小直径硅晶圆厂来说，就有机会采用一种新型的、具有高效益成本比的局部自动化方式，它能通过提升工艺设备利用率和缩短整个工艺循环周期来保

证 200mm 硅晶圆设备具有更高的加工产额。在采用从硅片盒到硅片盒加工方式时，上述方法可对需要进行加工的硅片做暂时的、局部的停留以对“硅片流”进行缓冲，还能近距离移动已加工完成的硅圆片产品批次，同时它也可向工艺设备载入新的硅圆片产品批次。

### 进一步的发展

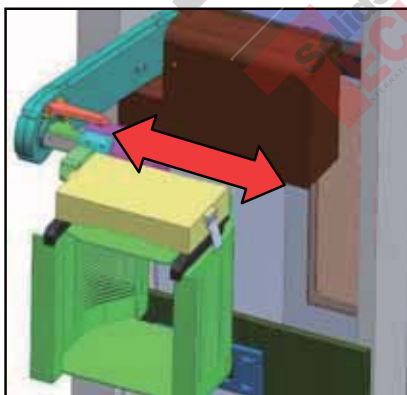
面向硅晶圆制造的自动化系统已经得到了很大的进步，特别是在过去的 10 年中它的发展更为显著。自动化可以从一个简单的储存柜系统开始，它们是位于各生产工艺单元区的顶部并与之相连通，来对加工中硅片 (WIP) 的储存情况进行管理。与此同时，圆片产品批次的传输则已经演变成广泛的、相互联系的自动化系统，如今这种系统已经渗入到硅晶圆厂的所有工艺加工区域。很多最新的开发进展已经为现存的或新建的 200mm 硅晶圆厂提供了很好的选择性改装的机遇，使其能像最先进 300mm 硅晶圆厂一样获得提高生产率的优势。

200mm 硅晶圆厂在实现自动化时所面临的主要挑战包括有：

- 要对工艺设备中现有的开放式硅片盒进行升级改造，因为它们原先的设计并不适合采用 SMIF。
- 那些已安装在生产线上或是在公开市场出售的翻新设备中，70% 以上都配置有开放式硅片盒。然而，大多数新工艺都需具有 SMIF 功能的工艺设备，因为只有这种设备才能实现制造过程中对洁净度的要求。
- 对现有的和未来的解决方案提供持续的技术支持

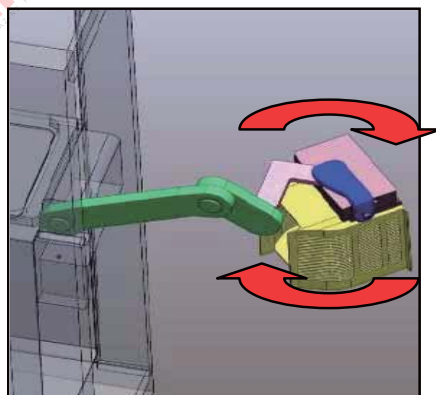
所建立的解决方案需要有一个总体的构想，因为一个硅晶圆厂需要正常运行的时间将大于 10 年。200mm 硅晶圆厂需要不断提升它们的技术节点以达到更小的特征尺寸，随着新材料、新工艺以及新生产效率的引入和改进，要不断开发出新的产品。当前所选择的任何自动化解决方案设计都需要考虑到与未来的生产设施相匹配的问题。

上述面临的挑战可通过以下手段来获得解决，即扩展标准机械接口 (SMIF) 的性能，来为 150mm 和 200mm 硅晶圆厂自动化提供一个具有高效益成本比的解决方案。目前已经对 SMIF 产品做了适当的改变，目



LPT-X Move

图1. X向移动LPT使得夹具头部产生一个横向运动，以将硅片盒安放在紧挨的载物台上。其应用实例为光刻胶涂布系统。



LPT-R Move

图2. R向运动或旋转运动可以将一个硅片盒安放在载物台上，载物台与机械手之间呈一定角度。其应用实例为量测设备。



LPT-Y Move

图3. Y向移动或窄体形式方式来对硅片盒进行安放，与标准LPT相比，它所占据空间将更为狭小。其应用实例为淀积系统。

前市场上（不包括 OEM）几乎所有配置开放式硅片盒设备中的 95% 以上，在采用标准机械接口（SMIF）后都可以将空气的洁净度水平提升到 1 级。对配置开放式硅片盒设备的一个实例是采用改良型的硅晶圆装载端口（LPT）。从历史角度来看，如果一个硅晶圆厂要将 SMIF 安装到配置有开放式硅片盒的工艺设备上，他们必须与该设备的 OEM 公司进行合作，来更改他们设备中前部端口部分。新的 SMIF LPT 技术现在已经可以适应硅片盒装载台对其安装的要求，而在过去这是个十分困难的问题，实现该技术只需花费很少的设备停机时间，对设备仅有很小的改动。实施该技术的结果是，整个工艺制造设备只需 48 小时就可以改造成 SMIF 适用的设备而马上可入生产应用，它从提高生产率和改进污染控制能力这两个方面，可以大幅度地节约硅晶圆厂的运行成本。

图 1 到图 3 显示了这些产品在工艺设备上的安装实例，它们都能转换到 SMIF 上。

上述装置能为 200mm 硅晶圆厂提供相当可观的生产效益，实施这种自动化解决方案的其它配置产品还包括有：

200mm 硅晶圆工艺设备的 SMIF 载入 / 载出（I/O）端口。它具有一个硅晶圆装载端口开启装置（loadport opener），主要用来作为 OEM 整合设备的解决方案。它包含了一个可升降的端口平面 lifting port plate 组件以及一个可伸缩的微环境腔室。它还具有对硅片 / 硅片盒的多路识别描绘功能，其工作是基于一个带分束器的激光二极管和一个集成化的硅片重新复位器，来对位置突出的硅晶圆进行

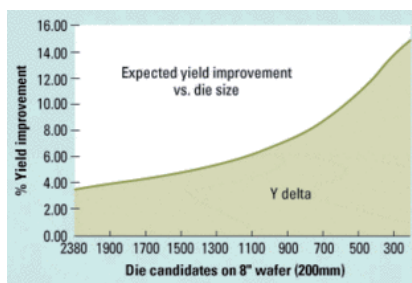


图4. 芯片良品率的提升和芯片尺寸间的关系。

自动感应并重新调整其位置。这种装置也可提供 150mm 和 230mm 单掩模箱体（single reticle pods），也具有 300mm 类型的 BOLTS 平板版本应用于 EFEM / 分拣器中。

另一种可降低 200mm 硅晶圆设备工艺循环周期的潜在机遇是在硅晶圆机械手自动装载系统中配置 EFEM 型前部端口。通过采用这种设备前部端口模块（EFEM）来取代分离硅片盒的硅晶圆装载端口 LPT，就可以直接在工艺设备上获得更多有关硅基片的详细信息，通过进行测试可以获得额外的操作上的灵活性，也可以直接对某些硅晶圆进行特别的“关照”。另外，某些类型的操作，如硅晶圆的随机化、硅晶圆的倒置、光学字符识别（OCR）读取以及测试晶圆的装载等，都可以在设备前部端口模块（EFEM）上来完成，而不必采用先将产品整批次地移出、再送到一个分离的分拣站（sorter station）中这样较为复杂的方式。

另外，如今我们可以利用 300mm 硅晶圆的设备前部端口模块 EFEM 技术来获得其 200mm 硅晶圆的技术版本，它不仅具有 SMIF 所具有的洁净度，还拥有能提高生产率的额外优势。对于一些设备平台来说，如要增加硅晶圆装载端口 LPT 的话，就需要在 1 级洁净度和产量之间做出一个抉择。在采用 200mm 硅晶圆 EFEM 后，如

今前端生产线上每小时可以处理 180 片以上的硅晶圆。也可选择专用的硅晶圆的边缘夹持端受动器（edge grip end effectors）等选配件，在将硅晶圆放回到硅片盒之前就可以调整它的居中位置，还能够降低污染颗粒的数量，这些颗粒是来自于无真空要求的硅晶圆背面。实际的生产数据显示，采用硅晶圆的边缘夹持端受动器可使硅晶圆背面的颗粒污染数减少 50 倍。

SMIF 的实施、良品率的提升和投资回报率（ROI）

进行 SMIF 升级的真正价值是基于以下的事实：通过减少硅晶圆上的颗粒数量可降低整个晶圆级上的缺陷密度水平，最终获得芯片良品率的提升。大量的测试已经证实对现有的开放式硅片盒系统进行 SMIF 功能的升级后，可以大大降低晶圆经过每次工艺（PWP）后所增加的微粒数量。在一个系列实验中，对硅晶圆上大于和等于 0.2um 的颗粒进行了测量，分别对经开放式硅片盒端口和 SMIF 端口处理的硅晶圆进行了比对。经过 50 次的装载和卸载操作，发现在开放式硅片盒中晶圆每经过一次工艺（PWP）后微粒增加的中位数是 0.5 个，与此相比，SMIF 中晶圆每经过一次工艺（PWP）后的微粒增加的中位数只有 0.06 个。

在另一项基准性研究中，对如下两组硅晶圆厂进行了比较，其中一组中的两个工厂均采用全手动开放式硅片盒装载系统，其工厂的净化级别为 ISO 3 级（即通常的 1 级）。另一组中八个工厂均装备了 SMIF 硅片装载系统，其工厂的净化级别分别为 ISO 3 级（即通常的 1 级）、ISO 4 级（即通常的 10 级）、ISO 6 级（即通

常的 1000 级) 和 ISO 7 级 (即通常的 10000 级)。研究结果显示在采用人工搬运的晶圆厂中晶圆每经过一次工艺 (PWP) 后所增加的 0.2 $\mu$ m 尺度微粒数在 0.6-0.75 个范围, 而装备 SMIF 的晶圆厂其 PWP 所增加的同尺度微粒数均少于 0.1 个。

图 4 显示了 200mm 晶圆上芯片预期良品率的提升与芯片尺寸之间的关系。在给定的工艺条件下, 这种晶圆上的缺陷密度从 0.72 个 /cm<sup>2</sup> 减少到了 0.14 个 /cm<sup>2</sup>。上述数据表明, 随着芯片尺寸的不断增大, 预期良品率的提升将会随之而增加。例如, 在 200mm 晶圆上含有  $\leq 500$  个芯片时, 其良品率的提升将可达到 10% 左右。

在芯片良品率上的提升使其能

很快地达到投资回报率 ROI 模型的底线。例如, 在一个每个月能生产 25000 片 200mm 硅晶圆的工厂中, 如果它的芯片良品率有了 5% 的提升, 那么就相当于该工厂每个月能多生产出 1250 片硅晶圆。如果加工完成的硅晶圆价值为每片 \$1,400 美元的话, 那么该工厂每个月额外生产硅晶圆的价值就达到了 \$1,750,000 美元, 或者它每年将会有 \$21,000,000 美元的额外收入, 将远超该公司所有在 SMIF 上的资金投入。

#### 结论

当今 200mm 晶圆制造正向着更小临界尺寸的方向发展, 使得业界面临着前所未有的挑战, 一些较早进

行翻新的 200mm 晶圆厂正开始面临着这样的挑战。如之前所述的那样, 为了使硅晶圆的背面污染达到最小化, 就需要新的、富有想象力的方法来传送硅晶圆并能将其重新排列整齐。对小于 180nm 技术节点的制造来说, 对洁净度的高标准就需要采用能对环境污染进行控制的方法。在将具有标准机械接口 (SMIF) 的自动化装置应用到配置有开放式硅片盒的工艺设备上时, 可以获得一个已经验证的、十分有效的解决方案, 它能提升晶圆厂的洁净度及其生产率水平, 而现有的成套设备无需长时间的设备停工就可进行改装, 也无需对 OEM 设备进行大的更改。◆



**HIWIN**  
Motion Control and System Technology

打造节能走廊  
**责无旁贷**

2001-2011 连续十一年荣获台湾精品金质奖

### 直驱式定位平台

TMS Direct-Drive Positioning System

- 防尘防水: IP65
- 大扭力, 直接驱动
- 定位解析度可达 0.0003 度
- 可使用于 1000 等级洁净室内
- 无须润滑, 深具绿色科技的特性

位置感测器  
多国专利申请中



**滚珠丝杠**  
Ball screws  
'11 '09 '08 '05 年台湾精品金质奖  
'06 '01 '93 年台湾精品银质奖



**直线导轨**  
Linear Guideway  
2009 年台湾精品金质奖  
2007, 2002 年台湾精品银质奖



**工业机器人**  
Industrial Robot  
KK Robot  
2010, 2003 年台湾精品金质奖



**直线电机**  
Linear Synchronous Motor  
2004 年台湾精品金质奖  
2009 年台湾精品银质奖  
2005 年中小企业创新研究奖



**直驱式定位平台**  
TMS Direct-Drive Positioning System  
2002 年台湾精品奖  
2006 年台湾精品银质奖  
2007 年中小企业创新研究奖



**线性致动器**  
Linear Actuator  
2002 年台湾精品奖  
2001 年中小企业创新研究奖

海外厂 德国 www.hiwin.de 美国 www.hiwin.com 日本 www.hiwin.co.jp 瑞士 www.hiwin.ch 捷克 www.hiwin.cz 法国 www.hiwin.fr 以色列 www.mega-fabs.com 英国 www.matrix-machine.com

全球营运总部



**大銀微系統股份有限公司**  
HIWIN MIKROSYSTEM CORP.  
www.hiwinmikro.com.tw  
中国大陆主要代理  
天津隆创日盛科技有限公司  
天津市南开区长江道众望大厦-1-405  
Tel: (022) 2742-0909 邮编: 300193  
上海诺银机电科技有限公司  
上海市闵行区金都路 1338 号 1 幢 108 室  
Tel: (021) 55882303 邮编: 201108  
海威机电有限公司  
深圳市南山区龙珠大道龙珠三路  
华强物流大厦 7 楼  
Tel: 0755-82112118 邮编: 518001

关系企业



**上銀科技股份有限公司**  
HIWIN TECHNOLOGIES CORP.  
www.hiwin.com.tw  
中国大陆主要代理  
天津罗升企业有限公司  
天津市空港物流加工区西十道 3 号  
Tel: (022) 2355-6000 邮编: 300308  
天津隆创日盛科技有限公司  
天津市南开区长江道众望大厦-1-405  
Tel: (022) 2742-0909 邮编: 300193  
海威机电有限公司  
深圳市南山区龙珠大道龙珠三路  
华强物流大厦 7 楼  
Tel: 0755-82112118 邮编: 518001  
上海诺银机电科技有限公司  
上海市闵行区金都路 1338 号 1 幢 108 室  
Tel: (021) 55882303 邮编: 201108