

硅片切割工艺与设备

浙江国际招(投)标公司 朱碧文

摘 要: 本文对硅片切割工艺与设备进行概括探讨。

关键字: 硅片 内圆切割技术 线切割技术 内圆切片机 线切割机

随着国家对可再生能源的扶持力度不断加大,我国光伏产业驶入政策“快车道”,产能迅速膨胀。硅片作为光伏产业的最主要生产原材料由主流的25*125mm、156*156mm向大规格210*210mm及以上发展。200mm以上规格硅单晶圆片切割加工可采用内圆切割技术或线切割技术两种切割方式。在硅圆片规模化生产中,线切割技术作为主流加工方式,逐步取代传统的内圆切割技术方式。但在所有硅材料切片加工中,内圆切割技术与线切割技术在实际应用中互为补充而存在。

1. 内圆切割技术与线切割技术分析

随着硅圆片直径的增大,内圆切割技术的缺点使硅片表面的损伤层加大(约为30~40微米)。线切割技术优点是效率高(大约为内圆切割技术的6~8倍)。在8小时左右切割过程中一次可切出400圆片左右。切口小,硅棒切口损耗小(约为内圆切割技术的60%,这相当于内圆切片机切割6片圆片而节约出1块圆片),切割的硅片表面损伤层较浅(约为10~15微米),片子质量人为因素少。

线切割技术同内圆切割技术相比有其明显的弱点,一是片厚平均误差较大(约为内圆切割技术2倍)。二是切割过程中智能检测控制不易实现。三是切割过程的成功率要求较高,风险大,一旦断丝而不可挽救时,直接浪费一根单晶棒。四是不能实现单片质量控制,一次切割完成后,才能检测一批圆片的切割质量,

并且圆片之间切割质量也不相同。在这些方面,内圆切割技术却显示出其优越性来。具体表现在:(1)切片精度高。(2)切片成本低,同规格级的内圆切片机价格为线切割机价格1/3~1/4,线切割机还需配置专用粘料机。(3)每片都可调整。(4)小批量多规格加工时灵活的加工可调性。(5)自动、单片方式切换操作方便性。(6)低成本的辅料(线切割机磨料及磨料液要定时更换)。(7)不同片厚所需较小的调整时间。(8)不同棒径所需较小的调整时间。(9)修刀、装刀方便。八十年代中后期人们普遍认为:随着硅晶片大片径化发展,线切割技术是硅片切割的主流技术,在规模化晶圆片切割中将取代内圆切割技术。因此人们加大了对200mm以上线切割机的研究,以解决其技术不足。例如1996年7月,日本日平外山公司研制成功300mm晶圆片线切割机(MNM444)。

随着IC器件大片径化发展同时其技术不断创新,作为成熟工艺技术的内圆切割技术在大直径化发展方向上并没有失掉其有利的地位。1998年1月,日本旭日金刚石工业公司推出T-SM—300内圆切片机,标志着内圆切割技术又上了一个新的台阶。可喜的是,这种设备在刀片直径增大情况下,仍采用较小的刀口厚度(0.38mm)。从相对意义而言,这种较小的刀口厚度降低了刀口硅材料消耗。并且,该内圆切片机设计制造采用了一系列先进技术,使刀口处宽度变化控制在0.36~0.38mm,这与200mm

晶圆片切片加工时的刀口宽度的摆幅变化(0.34~0.38)是一样的。由此可见300mm内圆切割设备制造精度和工作动态精度之高。由于内圆切片机晶棒端磨技术,切割过程中的自动修刀系统及刀片导向系统以及动态检测和自诊断系统等智能化技术的应用,以单片切割质量的控制成为优势条件,使内圆切片机切片质量很高(300mm片子的平均厚度变化差在0.01mm以内),为IC器件提供了优良的晶圆片。同时,机械手自动单片取片也使连续切割的成片率的可靠性为最局。

2. 圆切割技术与线切割技术在实际应用中互为补充而存在

根据实践经验,在新建硅圆片加工生产线上,规模在年产量达50吨以上硅单晶加工生产线,并且圆片品种主要针对较大数量集成电路用硅圆片时,切割设备选型可定位在线切割机上,同时大规模、单一硅圆片品种(主要指圆片的厚度规格品种)的太阳能级圆片加工,切割设备选型也可定位在线切割机上。厚度规格品种的多少,直接关系到线切割机排线导轮备件的数量。该排线导轮目前国内无法配套,国外供应商配套,价格较高。频繁更换排线导轮增加了辅助时间,还会增加线丝的浪费。生产规模较小的生产单位或多品种硅圆片生产并具有较大规模的生产单位,在设备选型上,应首先考虑选用内圆切片机。

3. 国内外内圆切片机设备技术概况

在国内引进的内圆切片机机型中主

要有瑞士 M&B 公司和日本东京精密株式会社 (TOKYO) 两公司的内圆切片机, 这几年随着国外硅片生产公司的设备更新, 在国内引进了二手的日本 TOYO 公司生产的 200mm 规格的切片机, 但数量不是很多。M&B 公司以卧式机型为主, TOKYO 公司以立式机型为主。在切片机主轴支撑方式上, M&B 公司以空气轴承为发展方向, TOKYO 公司以滚动轴承和空气轴承两种形式发展。由于以空气轴承支撑的主轴结构的内圆切片机, 在技术和制造成本上较高, 因而其价格比以滚动轴承支撑的主轴结构的内圆切片机高出近 10 万美元。因而, TOKYO 公司以滚动轴承支撑的主轴结构的切片机为主要发展方向, M&B 公司的产品中 150mm 主流机型有 TS23、TS202 (TS23 增强型) 两种。200mm 的主流机型有 TS205、TS206 两款机型。TS205 机型主要用于 200mm 晶棒齐端头、切样片和切断, TS206 机型则是集中了内圆切片机所有现有技术的机型。TOKYO 公司的 TSK 系列内圆切片机中, 150mm ~ 200mm 规格机型有 S-IM-227D, S-IM-227DR, S-IM-434E, S-IM-534B 机型, 其产品档次和技术含量随型号的大小而增加。

2002 年 3 月 26 日 ~ 27 日在上海国际展览中心举行国际半导体设备与材料展览暨研讨会 (SEMICON CHINA 2002) 期间, 除了 M & B 公司继续宣传他们的内圆切片机和线切割机外, TOKYO 公司没有专项宣传切片机机型, 在他们的宣传资料中涉及到切片机内容也不多, 这可能与 TOKYO 产品战略调整有关, TOKYO 产品开始涉及到后封装设备, 研磨抛光和化学机械抛光领域了。

在线切割机方面 TOKYO 公司抛弃了自行设计的多线锯 W-SL-300/-500 转而把瑞士 HCT 公司多线锯系列作为经营对象。M&B 公司内圆切片机同 2001 年北京展示的相同, 仅推荐 TS23、TS206 两种, TS23 机型是在原机型上加装了防护罩, 使操作环境变好。TS23 机型的生命期已延续了 20 年之久, 该机型在国内用户中也反映良好。内圆切断机

为 TS205、TS207 两种。M&B 同 TSK 不同, 该公司一直从事材料切割技术研究工作。

国内在内圆切片机研制中仅有信息产业部电子第四十五研究所。其内圆切片机机型在国内硅片切割行业应用的范围涵盖了从 $\Phi 50$ 到 $\Phi 200$ mm 图片的切片加工, QP-613 机型应用范围为 $\Phi 125$ mm ~ $\Phi 150$ mm 圆片切割加工, QP-816 机型应用于 $\Phi 200$ mm 图片切割加工。这些机型技术层次为国外九十年代初期的水平。

在以上诸多机型中以 TS206 S-IM-534B 两种机型集中了当今内圆切片机制造的最高技术。但是需要指出的是, 这些主要技术停滞了将近 10 年。其技术特点主要体现在以下几个方面:

(1) 精密主轴制造技术: 不论是采用空气静压轴承支撑的主轴技术还是以精密滚动轴承支撑的主轴技术, 都是保证切片机主轴高精度、高寿命及保证切片质量的关键技术。

(2) 精密伺服定位技术: 这是保证切片机切片厚度均匀、误差小, 减少磨片时间的关键技术。

(3) 机械手技术: 保证切片后可靠的取片, 减少片子意外损坏的技术。

(4) 自动检测技术: 是刀片导向系统及自动修刀系统应用和单片质量控制的前提条件。

(5) CNC 控制技术: 对机器进行控制及保证自动检测技术应用的一软硬件技术。

(6) 直流伺服电机技术: 保证切片质量, 提供可靠的驱动动力的技术。

(7) 精密滚动导轨: 保证切片时片子的平行度、翘曲度、粗糙度机械导向技术。

(8) 端磨技术: 提高片子表面弯曲度、翘曲度和表面粗糙度的技术。

4. 国内外线切割机设备技术概况

国外线切割设备生产厂家主要有日本 TAKATORI 公司, 不二越机械工业株式会社, NTC 公司以及瑞士的 M&B 公司, HCT 公司, 从产品技术角度划分, 瑞士的两家公司生产的线切割机水平较

高。尤其是 HCT 公司, 该公司自 1984 年成立以来, 专攻线切割机技术, 如今已成为业界的技术带头人。

TAKATORI 公司产品主要有 MW S-48SD, MW S-610, MW S-610SD 三种, 可用于 100mm ~ 200mm 之间半导体材料切割。该公司其他一些线切割设备主要用于截面尺寸较小的磁性材料、光电材料的切割。以上三种线切割机产品中都属于三轴 (导轮) 驱动形式, MW S-610SD 采用材料向下运动切割方式。这二种线切割机线丝存线长度不超过 150Km。不二越机械工业株式会社线切割机主要有 FSW-150 型。三轴 (导轮) 驱动形式, 可切割 150 × 150 方型材料 (主要针对太阳能光电硅材料切割), 存线长度不超过 150KM。NTC 公司 (日平外山公司) 主要提供 300mm 晶圆片线切割机 MNM444B 和 MWM454B 两种。三轴 (导轮) 驱动形式, 存线长度达 400Km。瑞士 M&B 公司在原 DS260 线切割机基础上研制出 DS261、DS262、BS800 三种机型。其中 DS262 机型是专为太阳能级硅片切割设计的, 该机型一次可切四根单晶棒料。其最大生产效率为一次自动切割过程中能切制出圆片 4400 片。BS800 机型是带锯切割方型材料的设备。

M&B 公司线切割机主要用于 200mm 硅圆片和太阳能级硅片的切割加工, 四轴 (导轮) 驱动形式, 大大增强了工作台的承料面积。

瑞士的 HCT 公司成立于 1984 年, 这个时期正是线切割机的酝酿时期。HCT 公司生产的线切割机主要有 E400SD、E500SD、E500ED-8、E400E-12 四种, 其中 E400SD、E500S 两种机型主要适用于太阳能级硅片加工, 最大加工到 150mm。E500ED-8、E400E-12 适用于半导体圆片加工生产, E500ED-8 为 200mm 设备, E400E-12 为 300mm 设备。HCT 公司与 M&B 公司线切割机设备主要以四轴 (导轮) 驱动形式设计, 这样可以增大工作台的面积, 增大切割能力。