

## 晶圆切割问题

随着微电子产业的迅猛发展,传统电子封装技术已不能满足现代工艺的需要。集成电路的外形封装技术中,晶圆切割是重要的第一步工作,直接影响芯片的性能和效益。由于单个芯片的尺寸变得越来越小,导致晶圆厚度也随之变薄,从而切割晶圆时发生断裂的可能性增加。同时,晶圆也是制造太阳能光伏电池的重要的半导体材料。如何减少制造成本、提高太阳能光伏发电的竞争力,是当前太阳能光晶圆制造产业的一个关键问题。

一般而言,晶圆加工时均需要将晶棒、石英等材料进行切割。晶圆切割的方法主要有:接触式刀片切割、锯线切割、电火花线切割、激光切割等重要的几类。接触式刀片切割主要是使用刀片外(内)圆沉积金刚石薄片磨削晶棒,并使用冷却液冲洗粉尘;锯线切割主要使用锯线的高速往复运行带动碳化硅研磨液研磨切割晶圆;电火花线切割则是使用脉冲性电火花放电使用高温使晶圆局部熔化;激光切割的一般原理是利用晶圆吸收激光光波而直接汽化形成沟道,达到切割的目的。晶圆加工时,切割速度及切割效率、晶圆最小厚度与加工精度、表面粗糙度与完整性等均是衡量切割质量的重要指标。

当考虑晶圆微加工时,激光切割晶圆由于具有一致性好、产品成功率优、自动化程度高等特点,但其成本较高、激光产生的热效应影响较芯片性能也是其明显的不足。而当晶圆制造精度要求不高时,使用锯线进行切割无疑具有成本低廉、表面完整性高、适于工业制造等特点,具有广泛的应用场景,它已经成为当前太阳能光伏电池或低精度集成电路产业中主流的切割方法。材料去除率(Material Removal Rate)是锯线在单位时间内切割掉的材料体积,令 $\Delta M$ 为 $\Delta T$ 时间里切割的材料质量(单位为 kg),则 $\rho$ 为材料的密度(单位为  $\text{kg/m}^3$ ),切割

晶圆在某个微小区域内的材料去除率定义为:  $MRR = \frac{\Delta M}{\rho \times \Delta T}$ 。

单线切割的原理如图 1 所示。设基台下降的速度为  $v_j$  m/s,锯线的线速度为  $v_l$  m/s。根据磨线弹性流体力学特性,当锯线切割过晶棒上的某一点 $M$ 时(坐标用 $(x,y)$ 表示),则材料去除率为如下公式:

$$MRR(x, y, u, V) = auV_l^2 \frac{P(x, y)}{h^2(x, y)}$$

其中 $a$ 为未知常数, $u$ 为研磨液的粘度系数, $P(x, y)$ 是研磨液对锯线的压强, $h(x, y)$ 为研磨液薄膜的厚度。

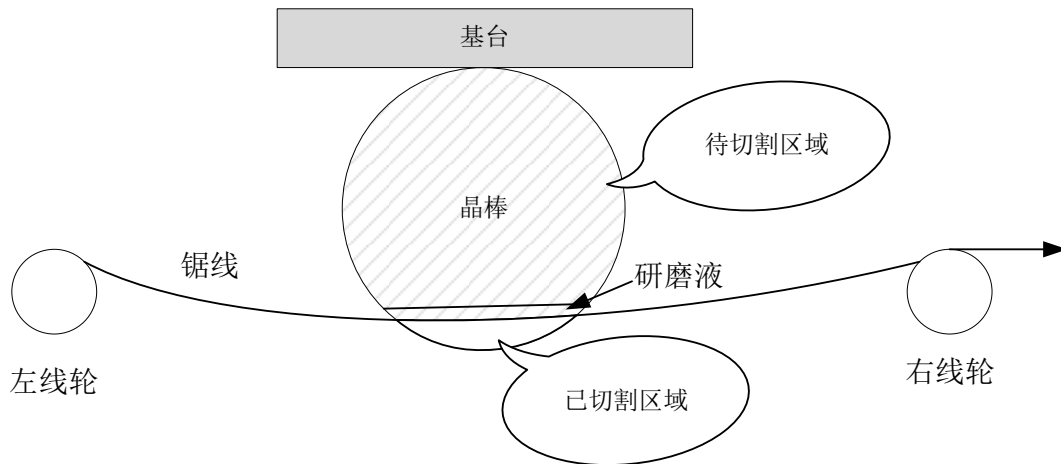


图 1 单线切割晶圆示意图

单线切割过程中，通过锯线的高速往复运动，其携带的研磨液带入切割区域，锯线与晶棒之间在研磨液的作用下没有直接接触，而使用研磨液的磨粒实现对晶棒的滚刻切割，起到类似刀具的作用。因此，研磨液的厚度在晶棒切槽入口与出口处并不一样，在入口处最大而在出口处最小。基台缓慢向下移动将晶棒压入锯线并保持一定的压力；而锯线在压力下形成一定的弧度。

多线切割的示意图如图 2 所示。多线切割的晶棒上有一个基板，其功能如同单线切割的基台，通过向下的移动增加晶棒的切割效率。

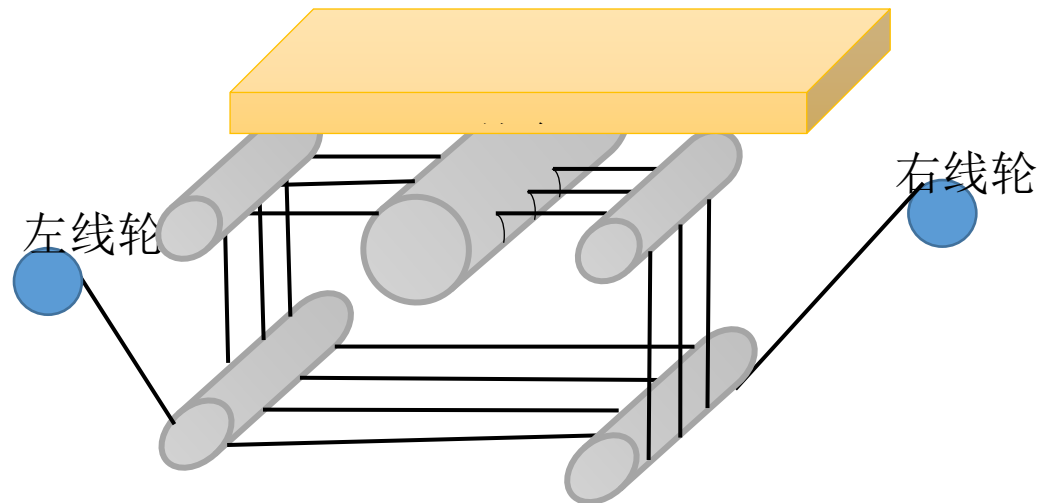


图 2 多线切割示意图

请你们结合相关晶圆切割的相关文献，以及本文所给的相关数据（如果可获得相关实际生产数据也可以用于拟合或检验），建立数学建模并解决如下几个问题：

问题 1：单线切割中，不考虑锯线的波动与系统偏移、圆晶厚度变化等情况，建立基台下移速度、锯线的线速度与材料去除率之间的数学模型，并对锯线形成的弧度进行分析。

问题 2：考虑多线切割情况（本模型中只选择三线切割），不考虑锯线的波动与系统偏移等情况，建立多线切割状态的基板下移速度、锯线的线速度与材料去除率、圆晶厚度的数学模型，并优化相关的误差。

问题 3：在问题 1、2 的基础上，如果考虑锯线的波动情况，建立相应的基台下移速度、锯线的线速度与材料去除率，圆晶厚度的数学模型，再考虑基台下移时的波动情况，该模型如何变化？

#### 附录 1 本文所涉及的相关参数：

圆晶直径：0.15m

晶圆与锯线接触弦的长度：0.05m

线速度：10m/s

锯线的线密度： $1.876 \times 10^{-4}$ kg/m；

锯线所受张力  $T$  可设定一个常数，如果不考虑优化时可取锯线张力为 20N；

研磨液粘度系数  $\mu = 5000$  cP（厘泊）

两个排线轮之间的宽度为 0.6m