

## 多线切割过程及控制分析

材料中心 朱蓉辉

**摘要:**多线切割机用于晶圆切割具有表面损伤层浅,切缝窄,切割速度快(片平均)等优点在半导体、电子行业的应用已经有较长的时间了,本文就多线切割如何获得好的切割质量以及在实际中的应用遇到的问题做一些介绍和分析,并就其结构和控制方面提出一些改进建议,以下均以日本 U-600 线切割机为例说明。

多线切割机结构大同小异,按照钢线的走向依次为:出线轴>加张力>回线>绕线滚筒(工作台切割位置)>回线>减张力>收线轴。整个系统完成的工作就是工作台按照一定的速度上升,一定张力的钢线以一定速度来回运动,依靠对工件的垂直压力加上泥浆的作用,缓慢的切割工件。

切割速度即为工作台上升的速度,一般为 0.1mm/min,评价工件的切割质量有以下一些参数:TTV(多片间单片)及 TAPER WARP BOW 表面副纹情况,切割时间,平均每片耗费时间。最大切割速度,最大线速,最大切割长度和宽度等由机器自身的结构决定,用户最关心的是最大切割长度和宽度。就特定的线切割机来讲,工件切割质量和切割数量之间有一些制约关系,否则只能采用更大的主轴设计来承担更多的切割量同时保证较好的切割质量。钢线绕在滚筒上后会被加上一个预张力,这样可以降低由于受到来自工件垂直方向压力时的变形,一般来说,这个力大一些好,但是要考虑线的承受能力和滚筒主轴的承受和形变,虽然一根钢线的张力虽然不大,但是一般在切割长度上有 200~500 根线,所以在增加切割线数的时候要考虑降低钢线张力。

片间 TTV 的产生一般由工作台上升过程中的偏差,切割缝的变化(主要引起 TAPER),工作台的上升精度为 1 微米,不是主要 TTV 产生的因素。TTV 主要是由切割缝的变化产生的,由于采用的是普通钢线,切削主要由从上往下喷出的砂浆完成,钢线携带砂浆进入工件的不均以及一些随机因素造成了切缝的不匀,所以一般切割后的工件总是上薄下厚,边薄,中心厚。为了取得改善 TTV 和 TAPER,一般需要调整砂浆分配器,根据不同的工件及安装位置提供均匀的砂浆,控制片间厚度偏差在 5 微米之内(中心测量),因砂浆原因造成的单片 TTV 的因素有两个:一是砂浆的磨削能力的变化,在一次性切割硅、砷化镓等晶体时由于加工时间不是很长所以影响不是很明显,但是如果加工宝石类,碳化硅时,因为切速很慢需要很长的加工时间就需要准备充足量的切割砂浆,并且随着加工时间的进行不断补充新的砂浆以弥补砂浆磨削能力的下降带来的钢线受力增加较大,致使晶片 TTV 较大,甚至出现断线事故。第二个原因是切缝的形成过程中,晶体逐渐被切开,砂浆越来越难进入切割缝中,致使切缝宽度发生显著变化造成单片 TTV 增大。这种原因所造成 TTV 的改善不太容易(如果采用金刚砂线应该可以有很大的改善)由于基本上对于各种常规晶体切割后的 TTV 都能控制在 10 微米以内,通过后道工序一双面精密研磨都能够修整到需要的范围内所以只要不超标一般忽略此类问题。

线切割中 WARP 的控制是难点,WARP 和 BOW 的产生一般认为:WARP 主要因为切割产生,BOW 主要因为晶体本身应力造成的,对于不同的晶体生长方式得到的晶体也略有不同,在这两个参数的表现上也相差很多,例如水平砷化镓单晶片的 WARP,BOW 一般都在 15 微米左右,LEC 生长

的晶体 WARP 一般在 2~6 微米，而 BOW 一般在 <1 的范围内波动。由于 WARP, BOW 无法通过后道工序有效降低，超标 1 微米就很难修复，并且工时很长，所以在切割控制 WARP 就显得相当重要。通过实验观察，工作台载荷的变化同 WARP 的变化有相关性，变化最大部分所带来的 WARP 占到整个 WARP 值的 60%~80%，通常发生在切入晶体的 20 毫米左右。（工作台载荷即工件受到所有钢线的向下的压力。）

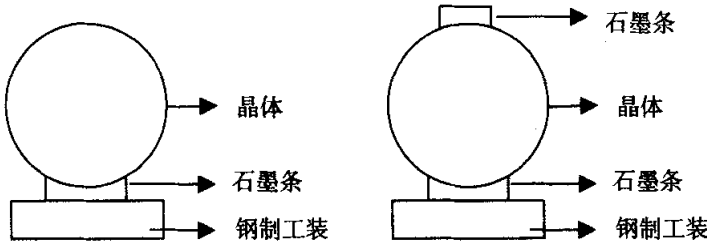


图-1 工件固定结构（3 寸硅）图-2 工件固定结构（4 寸碲化镉）

采用图 1 的晶体固定方式切割三英寸硅 WARP 在 20 微米左右，warp 最大值在晶体的中间，此时的切割条件为新砂浆，切速 0.3mm/min, 线速 300m/min；切割四英寸碲化镉时为避免较大 WARP，修改了部分参数，固定方式也改为图-2。

数据点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
距离 mm	0.84	2.54	7.39	13.82	14.97	17.71	19.61	21.73	24.81	25.26	29.07
载荷 kn	0.175	0.301	0.305	0.331	0.34	0.316	0.238	0.273	0.36	0.36	0.285
数据点	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
距离 mm	30.13	31.19	32.65	34.1	35.88	37.49	40.41	45.3	47.05	51.45	53.25
载荷 kn	0.312	0.372	0.318	0.352	0.38	0.351	0.325	0.406	0.37	0.387	0.432
数据点	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
距离 mm	55.37	57.95	60.88	62.59	64.49	66.32	68.16	70.14	71.98	73.56	75.47
载荷 kn	0.407	0.368	0.365	0.398	0.406	0.39	0.384	0.352	0.401	0.399	0.43
数据点	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
距离 mm	78.62	80.8	83.35	85.75	88.11	89.47	94.55	97.44	99.63	101.5	103.1
载荷 kn	0.374	0.381	0.391	0.401	0.4	0.377	0.43	0.441	0.447	0.466	0.45
数据点	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
距离 mm	107.5	109.4	111.4	114.8							
载荷 kn	0.42	0.433	0.416	0.423							

图-3 工作载荷变化同切割深度的数据表

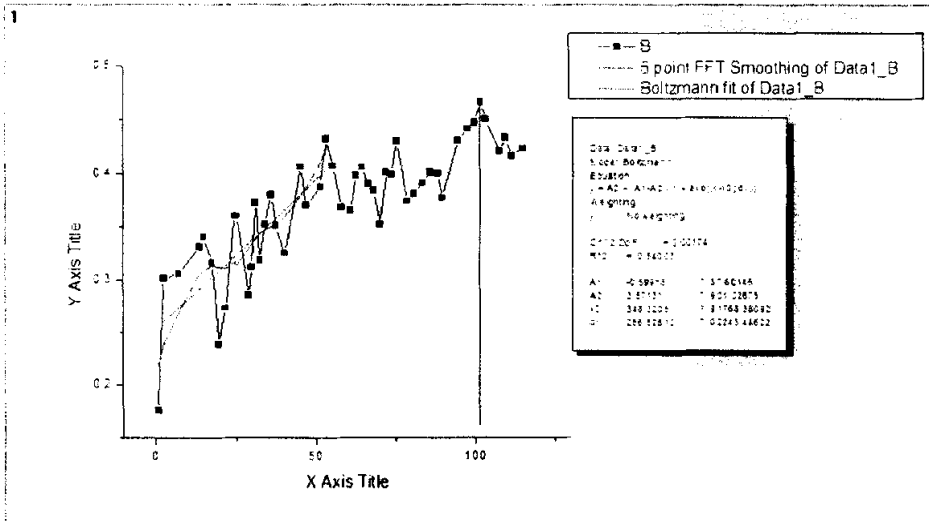


图-4 工作载荷变化同切割深度的折线图

通过以上的切割过程中的载荷变化的分析可以对多线切割的过程有一个深入的了解，总的载荷随着切割的晶体截面宽度的增加而增加，切入晶体的地方载荷变化很大，造成 WARP 的表现最大；

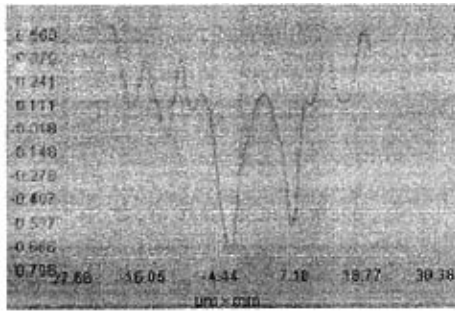
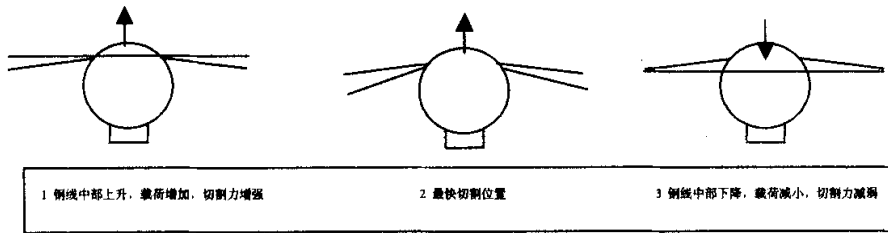


图-5 典型的线切割晶片 WARP

可以说在晶体最顶端粘石墨条对 WARP 改善有一定作用，一般可以做到小于 8 微米，但是我们可以看到，基本上正片的 WARP 都表现在晶片的顶部，这种情况发生的可能性:钢线切入顶部石墨条，钢线的垂直载荷由零开始增加，同时出现某个方向的侧向偏移（方向的选择可能随机，跟晶体本身性质有些关系），随着载荷的增大，最初切入位置同载荷相对稳定位置之间钢线的侧向偏移便造成了晶片最初的 WARP，同时 WARP 的变化程度也会受到切入工件宽度的制约，当钢线切入较深后，虽然有一定载荷的变化但是钢线的位移受到晶体制约，所以也不会有很大的 WARP 变化。

另外可以发现，晶体切割速度是不稳定的，虽然工作台的上升速度恒定，但是实际的切割速度

却是不断变化的，同载荷的变化相近，类似有波峰波谷的正弦波。这种切割速度的变化又导致了表面刷纹的产生。当切割速度低于工件上升速度时，钢线就会发生纵向形变，



使载荷增加切割速度加快，在一定时间内切割速度的增加和工作台位移增量的之间达到一个平衡，即切割速度等于工作台上升速度，载荷不再增加。此时由于在钢线的形变过程中，晶体两侧受力最大，从侧面看切割面已经成为一个圆弧线，晶体边缘被切的最深，并且钢线同晶体切割面的角度形成了最佳切割位置，晶体圆弧面中央的部分被较为迅速的切去造成切割速度略大于工作台的上升速度，载荷下降。

由于线切割即最早应用在切割方形石英晶体上，切割宽度是不变的，所以在整个切割过程中保持匀速可以得到较好质量的切割片，当线切割机逐渐应用到半导体行业圆形的晶体切割中，匀速切割的方式就显得有些不太适应，应客户的要求，有的厂家开发出了圆柱切割专用程序，根据截面宽度相应的调整速度，在切割高硬材料如蓝宝石时有效地控制了 WARP，但在需要在参数的设置上仍需要长时间的探索才能达到最佳值。

综合文中对切割过程和切割质量，工作台载荷等情况的分析，笔者认为工作台载荷综合反映了切割过程中的各种因素，如砂浆切割能力、切割面宽度、切割线速、砂浆的分配等等，如果编写一种通过控制加工中载荷的来进行切割速度的调节的程序，就可以在一定条件下，获得最好切割速度的同时，有效的调节切割能力和切割速度之间的关系，避免因为切割能力不够造成的钢线形变过大，造成 WARP 大，甚至切断片，断线的可能，避免因为切割能力超过切割速度的需要造成刷纹过重成槽，TTV 过大的可能，可以有较高的安全性和适用性。载荷控制可以为等载荷切割，或者按一定的经验来拟计理想的载荷变化曲线，达到对切割过程的较为直接的控制，达到更好的切割质量。

# 多线切割过程及控制分析

作者: [朱蓉辉](#)  
作者单位: [材料中心](#)

## 相似文献(1条)

1. 会议论文 [郑红军](#), [朱蓉辉](#), [赵德刚](#) [大直径LEC薄片多线切割过程控制分析](#) 2006

众所周知,采用LEC方式生长的砷化镓晶体内在应力大于其它生长方式约10倍左右,切割中如何降低“裂纹”“断底”:对其应力进行控制,已是目前大直径LEC薄片加工中重要问题,本文重点对光电子所需要的3-5英寸大直径LEC晶体,400微米以下薄片切割工艺中石墨几何形状对晶体受力进行分析,并提出一些改进措施,工艺试验均在U600线切割机上进行.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_5705679.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_5705679.aspx)

授权使用: 浙江大学(wfzjdx), 授权号: 3fe515d6-b122-4dac-9e90-9dbb012360cd

下载时间: 2010年7月22日