

# 晶圆切割和微加工新技术

作者：Derek Chiang (江朝宗)， Sean Green 和 Bernold Richerzhagen; Synova

电子产品“轻、薄、短、小”的市场趋势，要求许多电子器件除了要有更小的体积外，还要有更强、更快的功能。生产技术也因此而快速发展。但经年累月，有些技术已发展到物理极限，几乎难以更上一层楼。就半导体而言，如记忆体 IC，已由早期的一层变成多层的封装，一颗 IC 里叠了 7、8 层芯粒 (chip)，而总体积反而只有原来的几分之一。因此晶片 (Wafer) 的厚度也由 650 微米 (Micron) 一路减薄至 120 微米、100 微米、75 微米、50 微米、25 微米。当厚度降到 100 微米以下，传统的划片技术已经出现问题，产能节节下降，破片率大幅攀升。晶片在此阶段价值不斐，几个百分点的破片率可能吃掉工厂辛苦创造的利润。因此处理这类超薄晶片，工程师们无不战战兢兢。当传统钻石片切削方式碰到了瓶颈，大家都想到试试激光。从业界的实际案例来看，激光仍有不少难题需要克服。其中最难解决的是热影响区 (Heat Affected Zone) 过大及熔渣飞溅污染的问题。这些缺点足以影响或破坏晶片的电性，尤其那些高阶的 wafer。因此改用激光并不如预期顺利。此间瑞士联邦科技大学 Dr. Bernold Richerzhagen 发明的水导激光 (Water-Jet-Guided Laser 商业上称微水刀激光) 正好派上用场。该技术突破传统激光的概念，巧妙地结合水刀和激光两种技术，克服了热影响区等问题，获得世界专利，可望成为晶片切割及精微加工的新利器。

水导激光将激光聚焦后导入比发丝还细的微水柱中，从而引导光束，并冷却工件，消除了传统激光热影响区过大的缺陷。

## 水导激光原理

几千年来‘水火不融’的观念，1993 年被瑞士杰出的科学家 Dr. Bernold Richerzhagen 打破。他巧妙地结合水刀技术和激光技术的优点，创造出微水刀激光 (Laser Micro Jet)，更精确的说法是水导激光 (Water Jet Guided Laser)。他将激光聚焦后导入比发丝还细的微水柱中，从而引导光束，并冷却工件，消除了传统激光热影响区 (Heat Affected Zone) 过大的缺陷。大大提高了激光切割的质量，因而非常适合半导体、医疗器材、电子、航天等高精密、高洁净要求的加工。

从图 1 可看出激光束 (Laser Beam) 由上方导入，经过聚焦镜及水腔 (Water Chamber) 的窗户进入，聚焦于喷嘴 (Nozzle) 的圆心。

低压纯净水从水腔左边进入，经钻石喷嘴 (Diamond Nozzle) 上的微孔喷出。由于喷嘴考虑到流体力学的设计，出来的水柱像光纤一样又直又圆。水柱的直径根据喷嘴孔径而异，一般比人的头发还细，有 100 到 30 微米等多种规格。激光被导入水柱中心，利用微水柱与空气界面全反射的原理，激光将沿着水柱行进。在水柱维持稳定不开花的范围内都能进行加工。通常有效的工作距离为喷嘴孔径的一千倍。如喷嘴为 100 微米，则其有效工作距离为 100 毫米。这是传统激光所望尘莫及的，因为传统激光只能在焦点处加工。激光光源可选配不同的波长，只要该波长的能量不会被水吸收即可。精密加工常用的波长，1064nm 到 355nm 的范围均适用。

另外，用于微加工的激光几乎都是脉冲激光 (Pulsed Laser)，传统激光不论是脉冲或连续，总会有能量残留在切割道上，该能量的累积和传导是造成烧伤切割道旁热损伤的主要原因。而微水刀激光因水柱的作用，将每个脉冲残留的热量迅速带走，不会累积在工件上，因此切割道干净利落。热影响区的困扰得到大幅改善。因此，微水刀激光技术才适用于半导体等高精密的应用。

## 微水刀激光 ( Laser MicroJet ) 特点

相对于传统激光，微水刀激光有很多显著的特点。如无热影响区 (Zero Heat Affected Zone)，完全不烧伤工件，切割道干净利落、无熔渣、无毛刺、无热应力、无机械应力、无污染，极适合半导体、电子、医疗、航天等高精密器件切割加工。

微水刀激光适用于从金属到其合金的多种材料，如不锈钢、钛、钼、镁、镍、铜、Invar 等，以及硅 (Silicon)、锗 (Ge)、砷化镓 (GaAs) 等半导体材料，乃至碳化硅 (SiC)、CBN、钻石、陶瓷、橡胶……软硬通吃。甚至可同时切割橡胶及不锈钢片而不烧伤橡胶层，这在传统激光是完全不可能的事情。

该项技术可用于切割、钻孔、挖槽、打印、表面热处理等多项极细微和复杂的形状加工。超薄硅片 (Ultra Thin Silicon Wafer) 切割速度比传统钻石刀快 5 到 10 倍，并且可以切任意形状，功能超强，在半导体晶片切割的应用上，突破了多年来晶片划片只能走直线的桎梏。从此设计者可以毫无限制地发挥其创意。

从两张不锈钢切割的照片可清楚地看出热影响区 (HAZ) 大小所造成的差异。

传统激光因热影响区过大，无法进行精微切割，大大限制了其应用领域。

微水刀激光 (Laser Micro Jet) 以其优异的断热切割技术，大幅开拓精密微加工的领域，催生了许多新产品、新工艺。

## Low-k Wafer 切割的问题

原来只用于高阶产品的超薄晶圆 (Ultra thin wafer) 已经越来越普及，而且越来越薄。处理超薄晶圆不仅是硅衬底本身厚度的问题，再加上许多硬脆易碎及延展性高的金属 Pad 后，问题更加复杂。钻石刀片即使小心翼翼地切过硅衬底，但金属层的碎屑却可能包粘在钻石颗粒上，使切削能力大打折扣。此时若维持进刀速度，必然造成破片断刀的结果。各主要划片机厂，如 Disco、TSK 等均转向激光，由此可见机械方式已经到了克服不了的困境。不幸的是激光也有激光的问题。在此，就钻石刀片，传统激光及微水刀激光的特性探讨如下：

### a. 钻石刀片：

易造成 wafer 表面崩边或龜裂。遇金属层易断刀破片，切割速度慢，破片率高。但在切割硅衬底时断面平整，深度控制容易。在使用 DAF(Die Attach Film) 时可正好切穿 DAF 而不伤蓝膜 (Blue Tape)。

### b. 传统激光：

传统激光 (Conventional Laser) 或称干式激光 (Dry

图 1

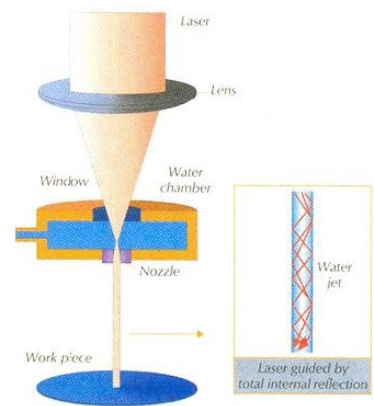
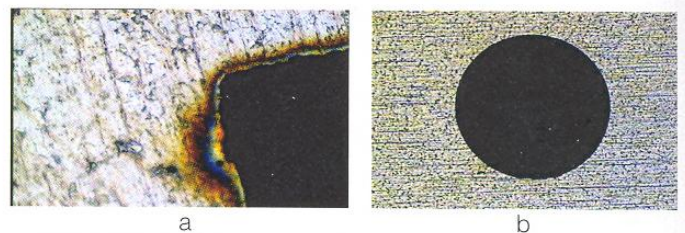
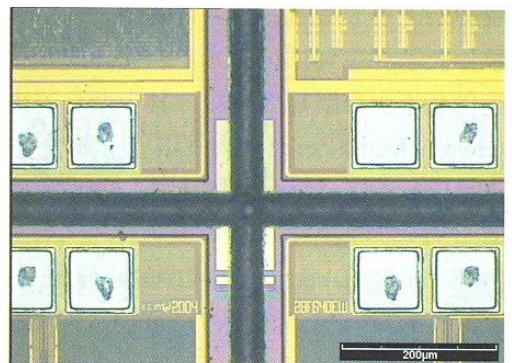


图 2



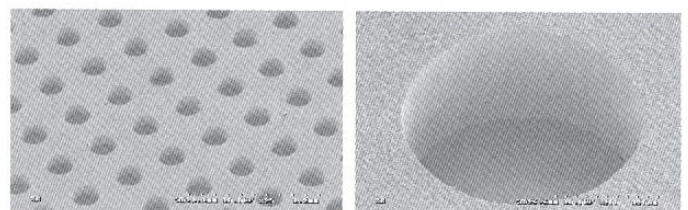
a. 不锈钢片以传统激光切割，热损伤严重。  
b. 不锈钢片以微水刀激光切割。

图 3



Laser MicroJet在低k晶圆上开槽划片的情况。  
Kerf宽度：50微米 深度：12微米 切割速度：250mm/sec

图 4



Silicon wafer以微水刀激光钻孔情况及放大的显微照片。

Laser), 因为热影响区的问题未克服, 仅能用在低阶晶片, 如太阳能晶片等。采用三倍频方式虽然有改善, 但也只能划划线。如果切穿, 同样烧伤晶片和 DAF 及蓝膜。

### c. 微水刀激光:

可以轻易去除切割道表层材料及硅衬底。切割超薄片 (50um) 时速度比钻石刀片快数倍。缺点为与干式激光同样会烧坏 DAF, 切割断面不如机械磨削光滑。

从上述看来各有所长, 也各有缺陷。

## 解决方案

既然没有十全十美的方法, 只好退而求其次。对钻石刀片而言, 难解决的是 Wafer 的表层材料。对微水刀激光而言, 头痛的是会烧坏 DAF。因此如各取所长, 分成两个步骤处理, 就差强人意。

首先用微水刀激光划浅浅的一刀, 加工手段上称之为开槽 (Grooving), 以清除切割道上所有的材料, 不管是金属或易碎材料。微水刀激光可以选用与切割道 (Cutting Street) 同宽的喷嘴, 像推土机一样一次推掉顶层上各种找麻烦的材料, 露出硅衬底。再接着用钻石刀片切穿硅衬底和 DAF, 并刚好停在蓝膜表面上。

因为开槽只能去除表层几微米的深度, 微水刀激光可以 250mm/sec 的高速进行。就生产线的平衡来看, 一台微水刀激光系统需至少五台以上钻石刀片与之配合才消化得掉。

从设备投资的角度来看, 这似乎是最有效益的方式。不仅不会因为引进新设备而闲置旧机器, 反而会提高产能, 真正相辅相成, 相得益彰。

## 其他应用

微水刀激光技术除了上述在 low-k、超薄晶片之应用外, 还可以作硅片钻孔 (Silicon Wafer Hole drilling)、硅片挖槽开孔 (Silicon Wafer Grooving and Slotting)、异

形晶粒切割 (Free Shape Chip Dicing)、局部减薄 (Partial Thining) 等。在超薄片的晶圆边缘打磨 (Wafer Edge Grinding) 时切去晶片外沿像刀锋一样锐利的部份, 竟然使超薄片的破片率降到零。在欧洲已经有半导体厂以此解决了破片的难题, 大幅减少了破片的损失。Wafer 钻孔虽不普及, 但在微机电 (MEMS) 领域则常有需求。表面上看起来微不足道的微钻孔应用, 常隐藏着丰厚利润和庞大商机。

除 Silicon Wafer 外, 微水刀激光还可以进行多种材料的微加工, 并应用于多个产业, 如电子业的印刷钢板、光电业的高精密蒸镀溅镀掩模 (Mask)、医疗器材中的心血管支架、汽车工业的喷嘴、航天科技中喷射引擎叶片钻孔等等。

## 结论

就半导体晶圆切割应用而言, 激光显然是一条必走之路。钻石刀片切割已完成其历史任务, 新一代的晶片切割和微加工势必使用更新的工具。微水刀激光技术刚一出现, 就给业界解决了不少问题, 接着更开拓出许多新的思考空间, 如异形晶粒等。过去许多做不到的事, 有了这项工具就变得容易了。

## 参考文献

- [1] Dr. Bernold Richerzhagen and Delphine Perottet, Low-K SDS solutions. 2006.3.16
- [2] Dr. Yasushi Kozuki and Dr. Bernold Richerzhagen, Gentle dicing of thin semiconductor materials by water-jet-guided laser, Proceedings of the 4th international congress on Laser Advanced Materials Processing, 2005.
- [3] Dr. Bernold Richerzhagen, Synova application notes. 2002~2006.
- [4] Dr. Weimin Liang, Thin wafer dicing Issue and New Technology Cost of Ownership. FUTURE FAB International: Issue 19.