By Dianne Shi and Ilan Weisshas

　　本文介绍，先进封装(advanced packaging)的后端工艺(back-end)之一：晶圆切片(wafer dicing)。

在过去三十年期间，切片(dicing)系统与刀片(blade)已经不断地改进以对付工艺的挑战和接纳不同类型基板的要求。最新的、对生产率造成最大影响的设备进展包括：采用两个切割(two cuts)同时进行的、将超程(overtravel)减到最小的双轴(dual-spindle)切片系统，代表性的有日本东精精密的AD3000T和AD2000T；自动心轴扭力监测和自动冷却剂流量调节能力。重大的切片刀片进步包括一些刀片，它们用于很窄条和/或较高芯片尺寸的晶圆、以铜金属化的晶圆、非常薄的晶圆、和在切片之后要求表面抛光的元件用的晶圆。许多今天要求高的应用都要求设备能力和刀片特性两方面都最优化的工艺，以尽可能最低的成本提供尽可能高的效率。

最近，日本东精精密又向市场推出了非接触式的激光切割设备ML200和ML300型

切片机制(The Dicing Mechanism)

　　硅晶圆切片工艺是在“后端”装配工艺中的第一步。该工艺将晶圆分成单个的芯片，用于随后的芯片接合(die bonding)、引线接合(wire bonding)和测试工序。

　　一个转动的研磨盘(刀片)完成切片(dicing)。一根心轴以高速，30,000~60,000rpm (83~175m/sec的线性速度)转动刀片。该刀片由嵌入电镀镍矩阵黏合剂中的研磨金刚石制成。

　　在芯片的分割期间，刀片碾碎基础材料(晶圆)，同时去掉所产生的碎片。材料的去掉沿着晶方(dice)的有源区域之间的专用切割线(迹道)发生的。冷却剂(通常是去离子水)指到切割缝内，改善切割品质，和通过帮助去掉碎片而延长刀片寿命。每条迹道(street)的宽度(切口)与刀片的厚度成比例。

关键工艺参数

　　硅圆片切割应用的目的是将产量和合格率最大，同时资产拥有的成本最小。可是，挑战是增加的产量经常减少合格率，反之亦然。晶圆基板进给到切割刀片的速度决定产出。随着进给速度增加，切割品质变得更加难以维持在可接受的工艺窗口内。进给速度也影响刀片寿命。

　　在许多晶圆的切割期间经常遇到的较窄迹道(street)宽度，要求将每一次切割放在迹道中心几微米范围内的能力。这就要求使用具有高分度轴精度、高光学放大和先进对准运算的设备。

　　当用窄迹道切割晶圆时的一个常见的推荐是，选择尽可能最薄的刀片。可是，很薄的刀片(20µm)是非常脆弱的，更容易过早破裂和磨损。结果，其寿命期望和工艺稳定性都比较厚的刀片差。对于50~76µm迹道的刀片推荐厚度应该是20~30µm。

碎片(Chipping)

　　顶面碎片(TSC, top-side chipping)，它发生晶圆的顶面，变成一个合格率问题，当切片接近芯片的有源区域时，主要依靠刀片磨砂粒度、冷却剂流量和进给速度(图1a)。

　　背面碎片(BSC, back-side chipping)发生在晶圆的底面，当大的、不规则微小裂纹从切割的底面扩散开并汇合到一起的时候(图1b)。当这些微小裂纹足够长而引起不可接受的大颗粒从切口除掉的时候，BSC变成一个合格率问题。

　　通常，切割的硅晶圆的质量标准是：如果背面碎片的尺寸在10µm以下，忽略不计。另一方面，当尺寸大于25µm时，可以看作是潜在的受损。可是，50µm的平均大小可以接受，示晶圆的厚度而定。

　　现在可用来控制背面碎片的工具和技术是刀片的优化，接着工艺参数的优化。

刀片优化(Blade Optimization)

　　为了接收今天新的切片挑战，切片系统与刀片之间的协作是必要的。对于高端(high-end)应用特别如此。刀片在工艺优化中起主要的作用。为了接纳所有来自于迅速的技术发展的新的切片要求，今天可以买到各种各样的刀片。这使得为正确的工艺选择正确的刀片成为一个比以前更加复杂的任务。

　　除了尺寸，三个关键参数决定刀片特性：金刚石(磨料)尺寸、金刚石含量和粘结剂的类型。结合物是各种金属和/或其中分布有金刚石磨料的基体。这些元素的结合效果决定刀片的寿命和切削质量(TSC与BSC)。改变任何一个这些参数都将直接影响刀片特性与性能。为一个给定的切片工艺选择最佳的刀片可能要求在刀片寿命与切削质量之间作出平衡。

　　其它因素，诸如进给率和心轴速度，也可能影响刀片选择。切割参数对材料清除率有直接关系，它反过来影响刀片的性能和工艺效率。对于一个工艺为了优化刀片，设计试验方法(DOE, designed experiment)可减少所需试验的次数，并提供刀片特性与工艺参数的结合效果。另外，设计试验方法(DOE)的统计分析使得可以对有用信息的推断，以建议达到甚至更高产出和/或更低资产拥有成本的进一步工艺优化。

　　图二显示在以30,000rpm心轴速度进行的硅晶圆切片期间，进给率、刀片磨料尺寸和刀片寿命的结合效果。图三详细显示相应得切削品质。正如所料，在某个工艺窗口之内，随着磨料尺寸的增加，刀片寿命增加(或磨损率下降)，而切削品质(在这种情况中TSC) 下降。越细的磨料尺寸提供在以适当的进给率时更高的顶面切削质量，虽然刀片寿命减少很多。如所提及的，增加产出是在晶圆切片中的减少成本的主要问题。更高的进给率和/或心轴速度是最常考虑到的影响参数。可是，取决于三个关键的刀片参数、晶圆的特性和厚度、和在迹道中的金属化程度，在一套工艺条件下的“完美刀片”可能在条件改变时不适合。

　　如图二和三所示，随着进给速率的增加，刀片寿命和切削质量两者都会变化，不管磨料尺寸如何。当优化一个工艺时，重要的是并行地考虑各种主要工艺和刀片的参数，以使产出达到最大，同时保持足够的刀片寿命和可接受的切削质量。在选择刀片类型来最大减少资产拥有成本的时候，可能要求一个折中。

　　与那些可能常见的东西相反，较慢的进给速度不总是保证更好的切削品质。差劣的切削品质可能在太慢的进给率时产生，由于产生更高的热量(图三)。达到可接受的切削品质的最小进给速度应是指对于一个给定的切片应用。这是一个可应用于各种晶圆切片的一般结论。当使用很慢的进给速度时，在切片铜(Cu)晶圆时可观察到较高的BSC1。当以很慢的转速切片时观察到相同的效果。

　　三个关键的刀片元素(金刚石尺寸、浓度和结合物硬度)的相对重要性取决于刀片磨料尺寸和工艺参数。为了给一个特定应用选择最适合的刀片，对这些关系的理解是必要的。

　　图四是对由于或者刀片金刚石浓度增加或者粘合物硬度增加而使刀片磨损百分率下降的一个DOE评估。一般来说，粘结硬度对刀片寿命的影响对于较细金刚砂更为显著。随着磨料尺寸增加，粘结硬度的影响变得越来越不重要。可是，对于所有磨料尺寸，金刚石浓度的影响似乎比粘结硬度更为重要。取决于磨料尺寸变化的程度，其对刀片寿命的影响可能是所有三个刀片参数中最重要的。

　　作为一般规则，较细金刚砂的刀片对刀片和/或工艺参数变化更加敏感。当BSC需要改进时，较软的粘结和/或较低的金刚砂浓度经常是必须的。或者粘结硬度或者金刚砂浓度的改变可降低刀片的寿命。

　　为了选择一个刀片，重要的还要理解刀片的外表硬度的影响(经常叫做基体硬度)。这是刀片的硬度的抽象测量，它反映在切割晶圆时刀片的“感觉”方式。基体硬度通过金刚砂磨料尺寸、浓度和粘结硬度的结合影响来决定。通常，较细的磨料尺寸、较高的金刚砂浓度和较硬的粘合物将得到增加的基体硬度。

　　通常建议，与其它考虑因素一起，较硬的材料要求较软的(基体)刀片来切片，反之亦然。例如，砷化镓(GaAs)晶圆一般要求较细的金刚砂尺寸(较硬的刀片)，而钽酸锂(LiTaO3)晶圆最适合于较粗的金刚砂尺寸和较低的金刚石浓度(较软的刀片)。随着非硅(non-Si)材料使用的进步，将达到对这些类型的先进晶圆切片应用的更深理解。

刀片负载监测(Blade Load Monitering)

　　在切片或任何其它磨削过程中，在不超出可接受的切削质量参数时，新一代的切片系统可以自动监测施加在刀片上的负载，或扭矩。对于每一套工艺参数，都有一个切片质量下降和BSC出现的极限扭矩值。切削质量与刀片基板相互作用力的相互关系，和其变量的测量使得可以决定工艺偏差和损伤的形成。工艺参数可以实时调整，使得不超过扭矩极限和获得最大的进给速度。

　　切片工序的关键部分是切割刀片的修整(dressing)。在非监测的切片系统中，修整工序是通过一套反复试验来建立的。在刀片负载受监测的系统中，修整的终点是通过测量的力量数据来发现的，它建立最佳的修整程序。这个方法有两个优点：不需要限时来保证最佳的刀片性能，和没有合格率损失，该损失是由于用部分修整的刀片切片所造成的质量差。

冷却剂流量稳定(Coolant Flow Stabilization)

　　以稳定的扭矩运转的系统要求进给率、心轴速度和冷却剂流量的稳定。冷却剂在刀片上施加阻力，它造成扭力。最新一代的切片系统通过控制冷却剂流量来保持稳定的流速和阻力，从而保持冷却剂扭矩影响稳定。

　　当切片机有稳定的冷却剂流量和所有其它参数都受控制时，维持一个稳定的扭矩。如果记录，从稳定扭矩的任何偏离都是由于不受控的因素。这些包括由于喷嘴堵塞的冷却剂流量变化、喷嘴调整的变化、刀片对刀片的变化、刀片情况和操作员错误。

总结

　　切片工艺变得越来越且要求高。切割迹道变得越窄，可能充满测试用衰耗器(test pad)，并且刀片可能需要切割由不同材料制成的各种涂敷层。在这些条件下达到最大的切片工艺合格率和生产率要求认真的刀片选择和先进的工艺控制能力。