

晶圆切割崩裂的成因和预防措施探讨

刘定斌, 胡超先, 张燕

(华天科技股份有限公司, 甘肃 天水, 741000)

摘要: 随着电子技术的发展,对集成电路封装工艺的要求越来越高。封装核心工序中划片工序造成的晶圆崩裂问题是一个工艺难点,也是制约封装行业发展的瓶颈之一。本文主要对晶圆崩裂的机理进行了分析,探讨了晶圆切割过程中影响其崩裂的各关键因素,从而针对性的提出了预防晶圆崩裂的有效方法。

关键词: 切割;划片刀;崩裂;晶圆

中图分类号: TN305.1

文献标识码: A

The Research on the Causes and Preventive Measures of Wafer Cutting Crack

LIU Ding-bin, HU Chao-xian, ZHANG Yan

(Huatian Technology Co., Ltd, Tianshui 741000, China)

Abstract: With the development of electronic technology, the packaging technology of integrated circuit is required to be more and more advanced. The wafer crack problems caused by dicing during the core package process is a technical difficulty, and it is also one of the bottlenecks of controlling the development of packaging industry. In this paper, the mechanism of wafer crack is analyzed, the key parameters of effecting the crack during the wafer cutting process are investigated, and the methods of preventing from wafer cracking are put forward.

Key word: Dicing; Dicing blade; Crack; Wafer

1 引言

划片工序是将集成电路整片晶圆通过切割设备分割成单个芯粒的工艺流程,是集成电路制造过程中整个晶圆操作的最后一道工序,承载了材料制备及晶圆前道加工等几百个工序的制造成本。由于划片工序是一种机械切削过程,切削对象是脆性材料,

因此切削难度大,最主要的问题是晶圆的崩裂,一旦出现崩裂,将会造成芯片的报废,造成整个制造过程的失效^[1]。

随着向小型化和高集成度方向发展,芯片尺寸减小、切割槽宽度变窄,芯片厚度越来越薄,划片工艺引起晶圆崩裂而造成整个制造过程失效的风险也越来越大^[2]。本文通过对切割过程中产生晶圆崩裂的

原因及其机理进行分析,从而对材料、设备、工艺进行改进和优化,使晶圆崩裂问题的发生率趋于最小程度。

2 晶圆崩裂产生的机理分析

晶圆是由硅、砷化镓等半导体材料制作而成的晶体圆片,是一种脆性材料,脆性高、断裂韧性低,材料的弹性极限和强度非常接近。在切割过程中(图1),当划片刀在高速旋转切割时,其机械力是直接作用在晶圆表面,晶圆表面会产生负载现象,当晶圆所受到的负载超过弹性极限时,在很小的塑性变形后接着就是断裂,很容易在切割位置附近产生崩裂(图2)。

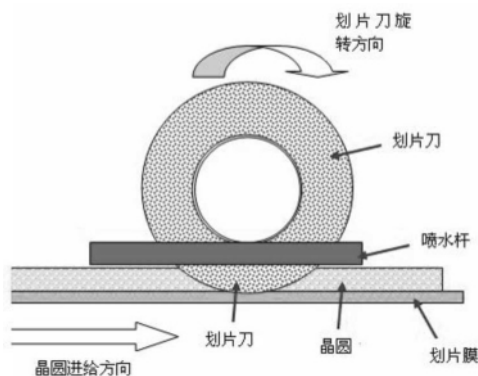


图1 划片加工原理图

根据国外学者 Evans 和 Marshall 对于脆性材料切削加工的实验分析和理论模型,要实现精密切削加工的条件是:划片刀上单个金刚石颗粒的最大切削深度应小于脆性材料的临界切削厚度^[3]。临界切削厚度指在磨粒作用下材料表面刚好产生微裂纹时的磨粒切入厚度值^[4]。

对于脆性材料来说,临界切削厚度应为:

$$\alpha_c = 0.15 \left(\frac{E}{H} \right) \left(\frac{K_c}{H} \right)^2$$

其中: E 为弹性模量; H 为材料硬度; K_c 为断裂韧性。

磨轮单个磨粒的最大切削深度公式为:

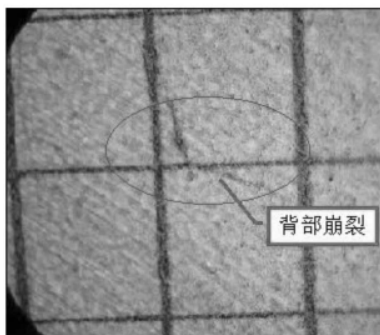
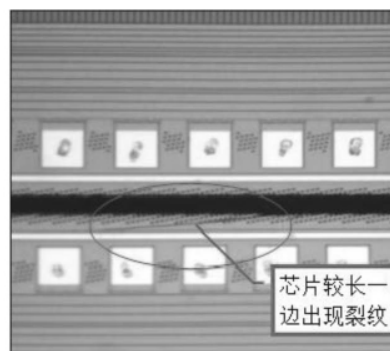
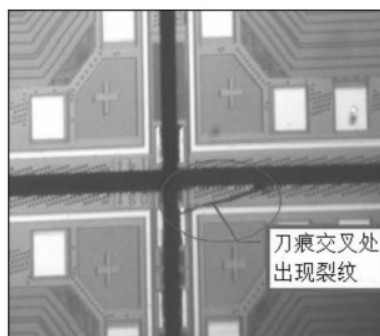


图2 晶圆加工边部崩裂缺陷照片

$$\alpha_{gmax} = \left[\frac{4V_w}{V_s N_d C \sqrt{\alpha_p} / d_e} \right]^{1/2}$$

其中: α_{gmax} 为单个磨粒的最大切削厚度值; V_w 为工件的进给速度; α_p 为磨轮深度; V_s 为磨轮速度; N_d 为磨轮动态有效磨刃数; d_e 为磨轮平均磨粒尺寸; C 为磨削常数。

由以上公式可以看出,只有 $\alpha_{gmax} < \alpha_c$ 当时,脆性材料在进行超精密磨削加工,才不会发生脆性破坏。因此,划片刀平均颗粒尺寸、主轴转速、工件进给速度和切削深度等条件都是影响脆性材料失稳的重要因素。

3 晶圆背崩的解决措施

目前,考虑到成本问题,大部分电子封装企业划片工艺是通过金刚砂切割刀进行的,刀具在划切过程中对晶圆产生内应力,晶圆崩裂是难以避免的。但是根据磨轮单个磨粒的最大切削深度公式,我们可以改变公式中所含的变量,从优化工艺条件、划片刀和划片机等几方面来降低切割过程中的内应力,降低划片中晶圆崩裂的损失。

3.1 晶圆厚度减薄过程改善崩裂

晶圆背面减薄是通过机械研磨的方式对晶圆背面进行减薄,在此过程中会在晶圆背面形成一定厚度的损伤层,损伤层的不规则存在会在晶圆内部产生较大的内应力。划片刀切割晶圆时,内应力会从切割部位进行释放,产生微裂纹,当这些微裂纹聚集在一起时就产生芯片的崩裂。晶圆内部存在应力的的大小与损伤层的厚度成正比,损伤层的厚度又与研磨砂轮金刚砂直径成正比,所以选择小金刚砂直径的砂轮,可以最大程度上减少机械研磨造成的损伤,减小内部应力造成的晶圆崩裂。对于超薄晶圆而言,切割前必须进行化学机械抛光、干刻蚀和化学湿刻蚀等先进的减薄划片工艺去除残留缺陷、释放应力,减小晶圆的翘曲度,降低晶圆崩裂问题。

3.2 划片刀具优化改善崩裂

划片刀又称金刚石划片刀,由金刚石和结合剂组成,其性能取决于金刚砂颗粒的大小、密度和粘结材料(图3)。金刚砂的暴露量越大,划片刀就越锋利。在划片过程中,划片刀刀口的金刚砂颗粒会不断地被磨损、剥落和更新,以保证刃口锋利。如果金刚砂颗粒更新及时,切割效果就比较好,划槽边缘较光滑。如果被磨损的金刚砂颗粒没有及时更新,就会导致划片刀变钝、切割负载变大、切割温度过高,发生划片刀过载。当划片刀过载时,会影响划片质量,严重时发生晶圆崩裂。

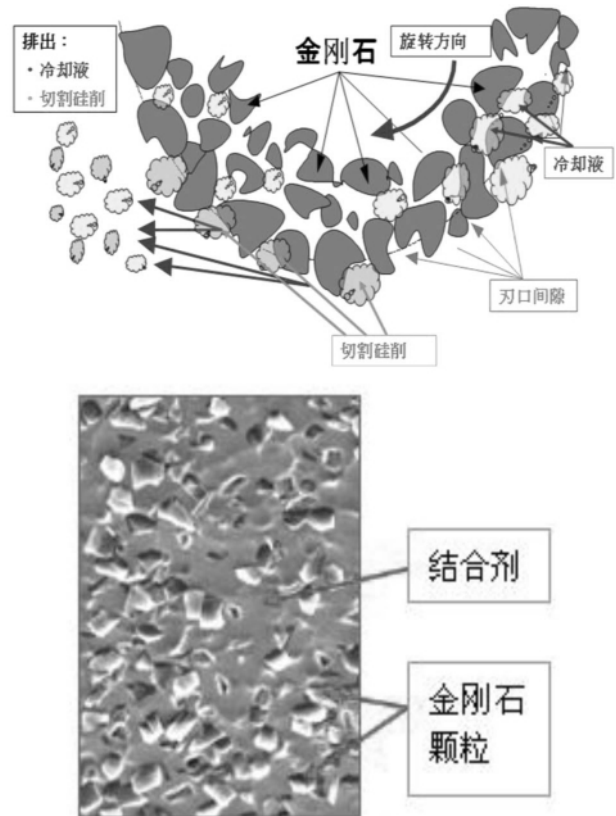


图3 划片刀具结构宏观和微观图

因此,在选取刀具时要考虑三个因素:金刚砂颗粒大小、结合剂强度、金刚砂密度。

3.2.1 金刚砂的颗粒度

较小的颗粒容易在切割时从刀片上剥落,保持刀片的锋利,划片质量较好,切割后晶圆崩裂小,但划片速度较慢,刀片寿命较短;而较大颗粒的划片刀寿命较长,但划片毛刺较大,切割后晶圆崩裂较大。

3.2.2 结合剂强度

软结合剂的划片刀,金刚砂颗粒容易在切割时从刀片上剥落,露出新的颗粒,保持刀片的锋利,从而减低切割负载,防止切割后的晶圆背面崩裂,但是划片速度较慢,刀片寿命较短;硬结合剂划片刀寿命较长,但在切硬材料时,容易损坏,并且切割后可能产生较大的晶圆背面崩裂。

3.2.3 金刚砂密度

高密度划片刀对抗切割负载能力较差,切割后晶圆背面崩裂大,但刀具使用寿命较长。低密度划片刀能有效地对抗切割时的负载,切割质量好,晶圆

背面崩裂小,但刀具使用寿命较短。

综合划片质量和划片刀寿命两方面考虑,传统的集成电路封装划片一般选择 4 μm ~6 μm 的金刚砂颗粒、中等强度结合剂和中等金刚砂密度的划片刀。而在应对划片刀过载问题时,必须选择较小的颗粒(如 2 μm ~6 μm)、低密度和软结合剂的划片刀,从而保证金刚砂颗粒能及时剥落和更新,保持划片刀锋利。大规模生产时,我们需要在划片刀寿命与切削质量之间作出平衡去选择最佳性价比的划片刀。

3.3 预切割改善崩裂

在生产加工过程中,划片机一般提供两种切割模式(图 4),单刀切割(SingleCut)和台阶式切割(StepCut),针对厚度较薄或划片槽金属较多的产品,通过将切割模式改为台阶式(StepCut)切割模式,即先用一把刀在晶圆表面开一定深度的槽,再用另一把刀切穿晶圆,其优点在于:减小了划片刀在切割过程中对晶圆施加的压力;减少了必须使用较高的刀高/刀宽比的划片刀所带来的机械摆动和严重的崩角问题;提供了选择不同类型的划片刀的可能性来分别优化正面崩角/分层及背面崩角。

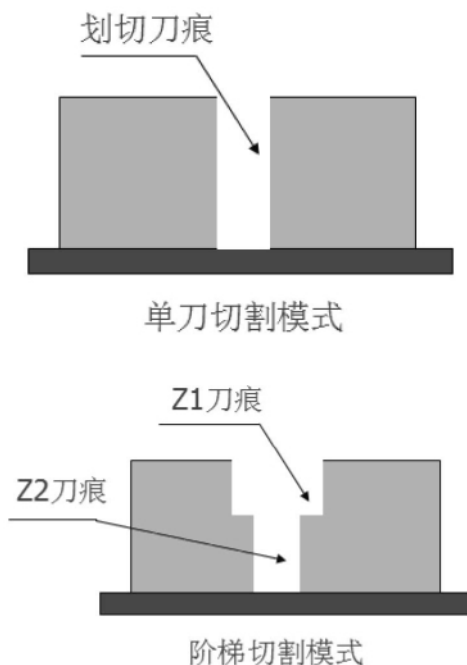
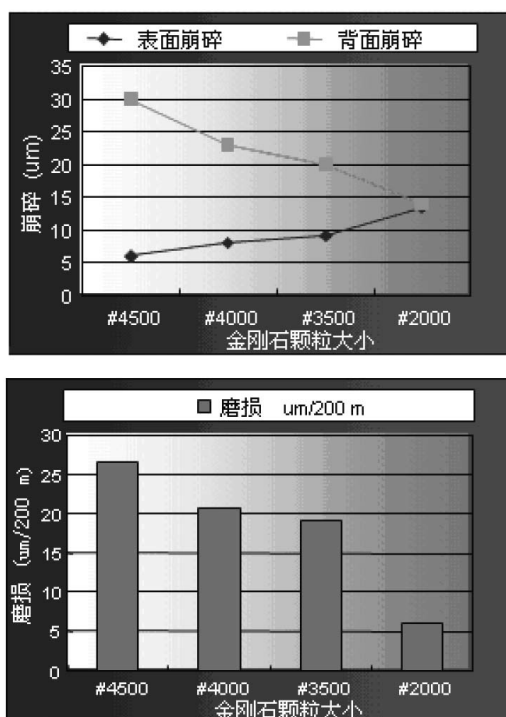


图 4 切割模式示意图

通常台阶式切割中 Z1 主轴划片刀选用金刚砂颗粒较小、中等强度结合剂和中等金刚砂密度的刀片,由于较小的金刚砂颗粒容易在切割时从刀片上剥落,保持刀片的锋利,并且切割较浅,冷却效果好,所以不会发生过载现象;而 Z2 主轴划片刀选用金刚砂颗粒中等、较软强度结合剂和低密度的刀片,其主要起到有效控制背崩的作用。划片刀的金刚石颗粒大小对芯片崩裂的影响和对划片刀本身的磨损的影响如图 5 所示。



(崩碎主要指划片刀切割后,芯片的崩裂长度;磨损是指划片刀在切割晶圆过程中,由于金刚砂颗粒受磨损而脱落,刀刃因而变短。)

图 5 划片刀金刚石颗粒大小测试数据图

3.4 工艺优化改善崩裂

在划片过程中,划片刀刀口的金刚砂颗粒不断的被磨损、剥落和更新,以保证刀口锋利,得到较好的切割效果。如果被磨损的金刚砂颗粒没有及时脱落更新,就会导致划片刀变钝,切割电流变大,切割温度过高,即所谓划片刀过载,发生芯片背面崩裂。解决划片刀过载的问题,可以有效的控制背面崩裂。在工艺控制方面,冷却水优化、切割速度、主轴转速是影响划片刀过载的三个主要因素。

3.4.1 切割速度

较快的进给速度切割时,磨损的金刚砂颗粒可能没有及时脱落更新,造成划片刀过载现象。但较慢的进给速度不是总能保证好的切割品质,太慢的进给速度会产生更高的热量,造成切割温度过高。在选择切割速度时,要根据晶圆结构、材料及划片刀的特性选择合适的切割速度。

3.4.2 主轴转速

主轴转速是指划片机空气主轴(spindle)每分钟的转速。主轴转速的快慢同样影响晶圆切割质量。过慢的主轴转速导致划片刀切割能力不足,切割时划片刀容易变钝,切割温度过高产生划片刀过载现象。所以一般选择高速的主轴转速来有效控制芯片背面崩裂。

3.4.3 冷却水优化

切割时,冷却水通常使用去离子(DI)水,其主要作用是冷却切割晶圆表面以及切割缝内,确保切割的品质,同时冷却刀片、延长刀片寿命,同时可以帮助把切割产生的碎屑冲掉。如果冷却水流量不足,会导致切割温度过高,发生刀片过载现象。所以切割过程中,需要严格控制冷却水流量在工艺范围内。由于冷却水的表面张力作用,冷却水无法渗透到晶圆背面,冷却效果不好,在晶圆背面就会发生背崩现象。目前较常用的做法是在冷却水中加入表面活性剂(Diamaflow),能够有效地降低DI水在晶圆/划片刀的表面张力,使冷却水能渗透到晶圆下端(图6),达到良好的冷却效果,利用此法也能有效地减少背部崩角。

4 结束语

在划片机的切割工艺中,晶圆崩裂及切割品质问题可以通过选择合适型号的划片刀以及调整、优化划切工艺参数等方面来改善。要想达到高标准的切割品质,切割工艺还需要不断的探索和经验的积累。例如通过采用金刚石划片刀和雷射切割相结合

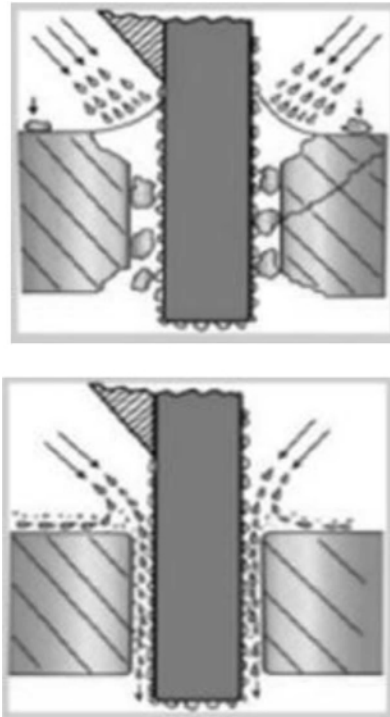


图6 未用活性剂和应用活性剂示意图

的方式,划切的材质可以多种多样,使得切割工艺也具有千变万化的特点。■

参考文献

- [1] 姜健, 张政林. 超薄圆片划片工艺探讨[J]. 中国集成电路, 2009(8): 66-69.
- [2] 龚平. 晶圆切割中背面崩裂问题的分析[J]. 电子与封装, 2008, 8(7): 1-5.
- [3] 赵奕, 周明, 董申. 脆性材料塑性域超精密加工的研究现状[J]. 高技术通讯, 1999(4): 59-62.
- [4] 庞零. 硅芯片封装中改善芯片崩裂的划片工艺[J]. 苏州市职业大学学报, 2011, 22(1): 36-39.

作者简介

刘定斌, 天水华天科技股份有限公司工艺研发工程师。

胡超先, 天水华天科技股份有限公司, 客户服务工程师。