

硅片生产工艺流程及注意要点

简介

硅片的准备过程从硅单晶棒开始，到清洁的抛光片结束，以可以在绝好的环境中使用。期间，从一单晶硅棒到加工成数片能满足特殊规定的硅片要经过诸多流程和清洗环节。除了有许多工艺环节之外，整个过程几乎都要在无尘的环境中进行。硅片的加工从一相对较脏的环境开始，最后在 10 级净空房内完毕。

工艺过程综述

硅片加工过程涉及很多环节。全部的环节概括为三个重要种类：能修正物理性能如尺寸、形状、平整度、或某些体材料的性能；能减少不期望的表面损伤的数量；或能消退表面沾污和颗粒。硅片加工的重要的环节如表 1.1 的典型流程所示。工艺环节的挨次是很重要的，由于这些环节的打算能使硅片受到尽量少的损伤并且可以减少硅片的沾污。在如下的章节中，每一环节都会得到具体简介。

表 1.1 硅片加工过程环节

1. 切片
2. 激光标记
3. 倒角
4. 磨片
5. 腐蚀
6. 背损伤
7. 边缘镜面抛光
8. 预热清洗
9. 抵御稳定——退火
10. 背封
11. 粘片
12. 抛光

13. 检查前清洗

14. 外观检查

15. 金属清洗

16. 擦片

17. 激光检查

18. 包装货运

切片 (class 500) k

硅片加工的简介中，从单晶硅棒开始的第一种环节就是切片。这一环节的核心是如何在将单晶硅棒加工成硅片时尽量地降低损耗，也就是规定将单晶硅棒尽量多地加工成有用的硅片。为了尽量得到最佳的硅片，硅片规定有最小量的翘曲和至少量的刀缝损耗。切片过程定义了平整度可以基本上适合器件的制备。

切片过程中有两种重要方式——内圆切割和线切割。这两种形式的切割方式被应用的因素是它们能将材料损失减少到最小，对硅片的损伤也最小，并且容许硅片的翘曲也是最小。切片是一种相对较脏的过程，可以描述为一种研磨的过程，这一过程会产生大量的颗粒和大量的很浅外表损伤。

硅片切割完毕后，所粘的碳板和用来粘碳板的粘结剂必需从硅片上清除。在这清除和清洗过程中，很重要的一点就是保持硅片的挨次，由于这时它们还没有被标记辨别。

激光标记 (Class 500k)

在晶棒被切割成一片片硅片之后，硅片会被用激光刻上标记。一台高功率的激光打印机用来在硅片外表刻上标记。硅片按从晶棒切割下的相似挨次进行编码，因而能懂得硅片的对的位置。这一编码应是统一的，用来识别硅片并懂得它的来源。编码能表白该硅片从哪一单晶棒的什么位置切割下来的。保持这样的追溯是很重要的，由于单晶的整体特性会随着晶棒的一头到另一头而变化。编号需刻的足够深，从而到最后硅片抛光完毕后仍能保持。在硅片上刻下编码后，虽然硅片有遗漏，也能追溯到原来位置，而且如果趋向明了，那么就可以承受对的措施。激光标记可以在硅片的正面也可在背面，尽管正面一般会被用到。

倒角

当切片完毕后，硅片有比较尖利的边缘，就需要进行倒角从而形成子弹式的光滑的边缘。倒角后的硅片边缘有低的中心应力，因而使之更牢固。这个硅片边缘的强化，能使之在后来的硅片加工过程中，降低硅片的碎裂限度。图 1.1 举例阐明了切片、激光标记和倒角的过程。

图 1.1

磨片 (Class 500k)

接下来的环节是为了清除切片过程及激光标记时产生的不同损伤，这是磨片过程中要完毕的。在磨片时，硅片被放置在载体上，并环绕放置在某些磨盘上。硅片的两侧都能与磨盘接触，从而使硅片的两侧能同步研磨到。磨盘是铸铁制的，边缘锯齿状。上磨盘上有一系列的洞，可让研磨砂分布在硅片上，并随磨片机运动。磨片可将切片导致的严峻损伤清除，只留下某些均衡的浅显的伤痕；磨片的其次个好处是经磨片之后，硅片格外平坦，由于磨盘是极其平坦的。

磨片过程重要是一种机械过程，磨盘压迫硅片外表的研磨砂。研磨砂是由将氧化铝溶液延缓煅烧后形成的细小颗粒构成的，它能将硅的外层研磨去。被研磨去的外层深度要比切片导致的损伤深度更深。

腐蚀 (Class 100k)

磨片之后，硅片外表尚有一定量的均衡损伤，要将这些损伤清除，但尽量低的引起附加的损伤。比较有特色的就是用化学措施。有两种基本腐蚀措施：碱腐蚀和酸腐蚀。两种措施都被应用于溶解硅片外表的损伤部分。

背损伤 (Class 100k)

在硅片的背面进行机械损伤是为了形成金属吸杂中心。当硅片达到一定温度时，如 Fe, Ni, Cr, Zn 等会降低载流子寿命的金属原子就会在硅体内运动。当这些原子在硅片背面遇到损伤点，它们就会被诱陷并本能地从内部移动到损伤点。背损伤的引入典型的是通过冲击或磨损。举例来说，冲击措施用喷砂法，磨损则用刷子在硅片外表磨擦。其他某些损伤措施尚有：淀积一层多晶硅和产生一化学生长层。

边缘抛光

硅片边缘抛光的目的是为了清除在硅片边缘残留的腐蚀坑。当硅片边缘变得光滑，硅片边缘的应力也会变得均匀。应力的均匀分布，使硅片更结实。抛光后的边缘能将颗粒灰尘的吸附降到最低。硅片边缘的抛光措施类似于硅片表面的抛光。硅片由一真空吸头吸住，以肯定角度在一旋转桶内旋转且不阻碍桶的垂直旋转。该桶有一抛光衬垫并有砂浆流过，用一化学机械抛光法将硅片边缘的腐蚀坑清除。另一种措施是只对硅片边缘进行酸腐蚀。

图 1.2 举例阐明了上述四个环节：

图 1.2

预热清洗 (Class 1k)

在硅片进入抵御稳定前，需要清洁，将有机物及金属沾污清除，假设有金属残留在硅片表面，当进入抵御稳定过程，温度上升时，会进入硅体内。这里的清洗过程是将硅片浸没在能清除有机物和氧化物的清洗液 ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$) 中，很多金属会以氧化物形式溶解入化学清洗液中；然后，用氢氟酸 (HF) 将硅片表面的氧化层溶解以清除污物。

抵御稳定——退火 (Class 1k)

硅片在 CZ 炉内高浓度的氧氛围里生长。由于绝大部分的氧是惰性的，然而仍有少数的氧会形成小基团。这些基团会扮演 n-施主的角色，就会使硅片的电阻率测试不对的。要防止这一问题的发生，硅片必须一方面加热到 650°C 左右。这一高的温度会使氧形成大的基团而不会影响电阻率。然后对硅片进行急冷，以阻碍小的氧基团的形成。这一过程可以有效的消除氧作为 n-施主的特性，并使真正的电阻率稳定下来。

背封 (Class 10k)

对于重掺的硅片来说，会经过一种高温阶段，在硅片背面淀积一层薄膜，能阻止掺杂剂的向外扩散。这一层就犹如密封剂一样防止掺杂剂的逃逸。一般有三种薄膜被用来作为背封材料：二氧化硅 (SiO_2)、氮化硅 (Si_3N_4)、多晶硅。假设氧化物或氮化物用来背封，可以严格地以为是一密封剂，而假设采用多晶硅，除了重要作为密封剂外，还起到了外部吸杂作用。

图 1.3 举例阐明了预热清洗、抵御稳定和背封的环节。

图 1.3 预热清洗、阻抗稳定和背封示意图

粘片 (Class 10k) 在硅片进入抛光之前, 先要进行粘片。粘片必须保证硅片能抛光平整。有两种重要的粘片方式, 即蜡粘片或模板粘片。

顾名思义, 蜡粘片用一固体松香蜡与硅片粘合, 并提供一种极其平的参照表面[?]。这一表面为抛光提供了一种固体参照平面。粘的蜡能防止当硅片在一侧面的载体下抛光时硅片的移动。蜡粘片只对单面抛光的硅片有用。

另一措施就是模板粘片, 有两种不同变异。一种只适用于单面抛光, 用这种措施, 硅片被固定在一圆的模板上, 再放置在软的衬垫上。这一衬垫能提供足够的摩擦力因而在抛光时, 硅片的边缘不会完全支撑到侧面载体, 硅片就不是硬接触, 而是“漂浮”在物体上。当正面进展抛光时, 单面的粘片保护了硅片的背面。另一种措施适用于双面的抛光。用这种措施, 放置硅片的模板上下两侧都是放开的, 一般两面都放开的模板称为载体。这种措施可以容许在一台机器上进行抛光时, 两面能同步进行, 操作类似于磨片机。硅片的两个抛光衬垫放置在相反的方向, 这样硅片被推向一种方向的顶部时和相反方向的底部, 产生的应力会互相抵消。这就有助于防止硅片被推向坚硬的载体而导致硅片边缘遭到损坏。[?]除了很多加载在硅片边缘负荷, 当硅片随载体运转时, 边缘不大可能会被损坏。

抛光 (Class \leq 1k)

硅片抛光的目的是得到一非常光滑、平整、无任何损伤的硅表面。抛光的过程类似于磨片的过程, 只是过程的基本不同。磨片时, 硅片进行的是机械的研磨; 而在抛光时, 是一种化学/机械的过程。这个在操作原理上的不同是导致抛光能比磨片得到更光滑表面的因素。

抛光时, 用特制的抛光衬垫和特殊的抛光砂对硅片进行化学机械抛光。硅片抛光面是旋转的, 在一定压力下, 并经覆盖在衬垫上的研磨砂。抛光砂由硅胶和一特殊的高 pH 值的化学试剂构成。这种高 pH 的化学试剂能氧化硅片表面, 又以机械方式用品有硅胶的抛光砂将氧化层从外表磨去。

硅片一般要经多步抛光。第一步是粗抛, 用较硬衬垫, 抛光砂更易与之反映, 而且比背面的抛光中用到的砂中有更多粗糙的硅胶颗粒。第一步是为了清除腐蚀斑和某些机械损伤。在接

下来的抛光中，用软衬、含较少化学试剂和细的硅胶颗粒的抛光砂。清除剩余损伤和薄雾的最后的抛光称为精抛。

粘片和抛光过程如图 1.4所示：

图 1.4 粘片和抛光示意图

检查前清洗 (class 1) 0

硅片抛光后，表面有大量的沾污物，绝大部分是来自于抛光过程的颗粒。抛光过程是一种化学机械过程，集中了大量的颗粒。为了能对硅片进行检查，需进行清洗以除去大部分的颗粒。通过这次清洗，硅片的清洁度仍不能满足客户的规定，但能对其进行检查了。

一般的清洗措施是在抛光后用 RCA SC-1 清洗液。有时用 SC-1 清洗时，同步还用磁超声清洗更为有效。另一措施是先用 H_2SO_4/H_2O_2 ，再用 HF 清洗。相比之下，这种措施更能有效去除金属沾污。

检查

经过抛光、清洗之后，就可以进行检查了。在检查过程中，电阻率、翘曲度、总厚度超差和平坦度等都要测试。所有这些测量参数都要用无接触措施测试，因而抛光面才不会受到损伤。在这点上，硅片必需最后满足客户的尺寸性能规定，否则就会被裁减。

金属物清除清洗

硅片检查完后，就要进行最后的清洗以清除剩余在硅片表面的所有颗粒。重要的沾污物是检查前清洗后仍留在硅片表面的金属离子。这些金属离子来自于各不同的用到金属与硅片接触的加工过程，如切片、磨片。某些金属离子甚至来自于前面几种清洗过程中用到的化学试剂。因此，最后的清洗重要的是为了清除残留在硅片表面的金属离子。这样做的因素是金属离子能

导致少数载流子寿命，从而会使器件性能降低。SC-1 原则清洗液对清除金属离子不是很有效。

因此，要用不同的清洗液，如 HCl，必需用到。擦

片

在用 HCl 清洗完硅片后，可能还会在表面吸附某些颗粒。某些制造商选择 PVA 制的刷子来去除这些残留颗粒。在擦洗过程中，纯水或氨水 (NH_4OH) 应流经硅片外表以带走沾附的颗粒。

用 PVA 擦片是清除颗粒的有效手段。激

光 检查

硅片的最后清洗完毕后，就需要检查表面颗粒和表面缺陷。激光检测仪能探测到表面的颗粒和缺陷。由于激光是短波中高强度的波源。激光在硅片表面反射。如果表面没有任何问题，光打到硅片表面就会以相似角度反射。然而，如果光打到颗粒上或打到粗糙的平面上，光就不会以相似角度反射。反射的光会向各个方向传播并能在不同角度被探测到。

包装 货运

尽管如此，可能还没有考虑的非常周到，硅片的包装是非常重要的。包装的目的是为硅片提供一种无尘的环境，并使硅片在运送时不受到任何损伤；包装还可以防止硅片受潮。如果一片好的硅片被放置在一容器内，并让它受到污染，它的污染程度会与在硅片加工过程中的任何阶段一样严峻，甚至以为这是更严峻的问题，由于在硅片生产过程中，随着每一环节的完毕，硅片的价值也在不断上升。抱负的包装是既能提供清洁的环境，又能掌握保存和运送时的小环境的干净。典型的运送用的容器是用聚丙烯、聚乙烯或某些其他塑料材料制成。这些塑料应不会释放任何气体并且是无尘的，如此硅片表面才不会被污染。最后六个环节如图 1.5 所示。

图 1.5 检查前清洗、外观检查、金属离子清除清洗、擦片、激光检查和包装/货运示意图

硅片制备阶段的问题

在硅片的制造过程中，波及到许多参数。而且这些参数中有许多会因最后硅片目的不同而发生变化。对硅片来说，有某些参数始终是很重要的，如平整度、缺陷、沾污等。在下面的章节中将具体讨论。

当硅片被不对的运营的刀片所切割时，就会导致弯曲的刀口。这些刀口都不会相似，这就使硅片有不同种类的平面缺陷。能以最佳的方式使硅片得到平整的表面是很重要的，因此应以尽量平的面去切割硅片。

有不同的测量措施来测试硅片的平整度。某些测量措施给出了圆形的或者说是整个硅片的平整度而另某些措施只显示出局部的硅片平整度。整个的平整度对于设计样品时是很重要的，？

从另一方面说，局部的平整度对于设计是很重要的，某些整体平整度测试的术语是弯曲度（bow）、翘曲度（warp）、总厚度超差（TTV）、总批示读数（TIR）和焦平面背离（FPD）。局部平整度测试的术语也与其一致。

Bow

硅片弯曲度是测量硅片弯曲限度，它是与硅片中心从一通过接近硅片边缘的三个基点建立的平面的背离限度。弯曲度测试是一种较老的测试手段，不常常使用。由于弯曲度测试只能测试与中心的背离，其他措施也就相应产生了。事实上，硅片的背离会发生在硅片的任一位置，而且能产生诸多问题。在近来的时间里，S型弯曲或翘曲的测试被真正采用。这种变形有比弯曲更复杂的形状。

Warp

硅片形状变形的另一测试措施是翘曲度的测试。翘曲度是测量硅片拟定的几种参照面的中心线位置的最高点与最低点之最大差值。硅片的翘曲度起决于使用的一对无接触扫描探针。硅片被放置在三个形成参照平面的支点上，这对探针中一支可以在硅片一侧的任意位置，而另一支则在另一侧的相应位置。探针按设定的程序，沿硅片外表移动，测量到硅片外表指定点的距离。一旦所有的距离都已测得，翘曲的限度也就懂得了。测定翘曲度，第一步就是找到顶部探针与顶部硅片外表的距离（a）和相应底部探针与底部硅片外表的距离（b）。换句话说，就得到了b-a的所有测量点。有了这些数据，将b-a的最大值减去b-a的最小值，再除以2就是Warp值（如图1.6所示）。

图 1.6 翘曲度（Warp）和总厚度偏差（TTV）测量示意图

硅片的翘曲度与半导体制造有关，由于一片翘曲的硅片在光刻过程中可能会引起麻烦；还可能在某些加工过程中粘片时也有问题。小量的翘曲在某些加工过程中可以通过真空吸盘或夹具得到补偿。

TTV

一种检测硅片厚度一致性的措施，叫总厚度超差（TTV），就是指硅片厚度的最大值与最小值之差。测量TTV可在测量Warp时同步进行。Warp中类似的探针和数据解决措施可以为

TTV 所承受。事实上，不同的仅仅是计算公式。在计算 TTV 时，第一步是将顶部探针与顶部硅片表面的距离（a）和相应底部探针与底部硅片表面的距离（b）相加，这里，我们要的是相加（a+b），TTV 就是将 a+b 的最大值减去 a+b 的最小值。

TIR

总批示读数是一种只与硅片的正面有关的参数。测量措施是将与真空吸盘平行吸住的一面作为参照平面，TIR 就是正面最高处与最凹处的差值。（见图 1.7）

图 1.7 总批示读数（TIR）和焦平面偏离（FPD）测量示意图

FPD

焦平面偏离（FPD）是指硅片上距焦平面最高处和最深处到焦平面的距离中远的一种。有时这个平面是参照硅片背面或是一种假想的平面。这一测量值表白了？

迄今为止，所讨论的所有平整度测试措施都是指整体测试。换句话说，所有的测试措施都是体现硅片整体的表面状况。这些措施中的大部分也可以测试局部状况。差别仅在于测试时所覆盖的区域是整体还是局部。一般，区域的选择尺寸同典型的电路芯片相似。举个例子，局部测试的硅片平整度称为局部厚度超差（LTV），LTV 几乎与 TTV 相似，区别仅在于前者只相应硅片的社区域范畴。

污染

硅片表面的污染是一种重要关注的问题。硅片生产过程从相对较脏的切片开始到最后进入一净空房结束，硅片要暴露在大量的不同化学品和溶液中，而且硅片还要被放入许多不同的机器进行机械加工，所有这些接触都会导致颗粒沾污。另两个重要的污染是金属和有机物。金属因硅片经过许多机器加工，金属与硅片表面直接接触而被留在硅片表面；有机物则可能来自于任何物体上的油脂或油。在硅片最后被发往客户前，所有的污染都必须被清除。

安全

同其他制造环境一样，在设备的每一位置，均有其特殊的安全规定。在半导体制造的硅片生产阶段，许多安全问题非常类似于在一装备完好设备商店，有高速度的刀片和所有手工滚磨设备。硅片生产中的许多过程是机械导向的，因此，这些有操作危险的过程必须有一定

的安全程序。

除了这些显而易见的机械危险外，尚有化学方面的危险。硅片的生产要用到许多危险的化学药物，如在敞开式的硅片清洗中用到的 HF 和 KOH。这些化学品的使用象水一样频繁，而且容易被灌输一种错误的安全观念。因此，当在进行与这些化学品有关的工作时，必须拟定出所有对的安全方针。

其他尚有波及到多种不同辐射的安全问题。在切片区域，有 X-ray 源；激光扫描区域，有激光的辐射可能会引起潜在的火灾，甚至使人失明。在这些区域，都应穿着合适的防护服，并应谨慎操作以防发生安全问题。

术语表

弯曲度 (bow)

硅片弯曲度是指硅片中心与一通过接近硅片边缘的三个基点建立的平面的背离限度。弯曲度是对整个硅片而言。

10 级 (class10)

一般指环境的清洁度时，10 级是指每立方英尺空气中 $0.5\mu\text{m}$ 大小的颗粒不超过 10 个，而且更大的颗粒数更少。这是一种非常干净的环境。硅

胶

硅胶是一种悬浮的硅土颗粒，细小到无法辨别出各个颗粒，也无法从悬浮液中分离出来。

微切伤

微切伤是由刀片的颤抖而引起的，它是刀片在行进过程中细微的背离，而在硅片上沿着切口留下的细小的脊状损伤。

外吸杂

外吸杂是一种适用在硅片反面的吸杂措施。焦

平面背离 (FPD)

焦平面背离的测试能阐明离硅片正面上任何点的焦平面的最远距离。FPD 能衡量整个硅片正外表

。

吸杂

吸杂是一种诱使金属杂质远离硅片正面的措施。一般通过在晶体构造中导致高应力区域来实现。有两种不同的吸杂措施：外吸杂和内吸杂。

雾化

雾化是硅片浮现雾气的一种条件。可能由硅片的任何的沾污或损伤而引起。平均载流子寿命？

平均载流子寿命是指在硅体内多数载流子的平均复合时间。Piranha

Piranha是一种清洗液，由硫酸（ H_2SO_4 ）和双氧水（ H_2O_2 ）构成。之所以起这个名字是由于

当上述两种化学品混合时，溶液温度会达到120°C左右并剧烈沸腾。总

批示读数（TIR）

总批示读数是硅片的正面上距设定参照面最高处与最凹处的距离。TIR能表白整个硅片正面的状况。

总厚度超差（TTV）

总厚度超差（TTV）是指硅片最厚处与最薄处的差值。TTV也是对整个硅片的测试。

翘曲度（warp）

翘曲度（warp）是指离硅片中心线最高和最低的差值，是整个硅片的测试。

习题

1、硅片生产的重要目的是为了生产——（ ）

- a. 无损伤硅片
- b. 清洁、平整、无损伤的硅片
- c. ?
- d. 有粗糙纹理的硅片

2、一种典型的工艺流程是——（ ）

- a. 切片、磨片、抛光、检查

- b. 切片、抛光、磨片、检查
 - c. 磨片、切片、抛光、检查
 - d. 抛光、切片、磨片、检查
- 3、磨片的目的是——()
- a. 提供一种高度抛光表面
 - b. 探测硅片表面的缺陷或沾污
 - c. 硅片抵御的稳定
 - d. 清除切片过程导致的深度损伤
- 4、抛光过程是一种——()
- a. 一种化学/机械过程
 - b. 一种严格的化学过程
 - c. 一种严格的机械过程
 - d. 其他类型的过程
- 5、退火（抵御稳定）过程为消除_____的抵御影响——()
- a. piranha清洗液（ $H_2SO_4+H_2O_2$ ）
 - b. silox
 - c. 金属
 - d. 氧
- 6、哪一种平整度测试能阐明硅片厚度的一致性——()
- a. TTV（总厚度超差）
 - b. TIR（总批示读数）
 - c. 翘曲度
 - d. FPD（焦平面背离）

切片

目的

- 1、当将晶棒加工成硅片时，能拟定切片加工的特性；
- 2、描述切片时所用的碳板的作用；
- 3、懂得内圆切片和线切割机的长处和缺陷；
- 4、硅片进行标记的目的；
- 5、硅片边缘？的因素；
- 6、描述硅片边缘？的典型措施。

简介

本章重要讨论多种切片工艺和它们的特征，对硅片的激光扫描，及硅片的边缘的 **contour**

切片综述

当单晶硅棒送至硅片生产区域时，已经准备好进行切割了。晶棒已经过了头尾切除、滚磨、参照面磨制的过程，直接粘上碳板，再与切块粘接就能进行切片加工了。

为了能切割下单个的硅片，晶棒必须以某种方式进行切割。在进行内圆切片的工场内，切片可能会引用许多原则。切片过程有某些规定：能按晶体的一特定的方向进行切割；切割面尽量平坦；引入硅片的损伤尽量的小；材料的损失尽量少。为了满足切片的这些规定，某些特别的切片措施产生了。在下面章节中将讨论几种切片的特殊措施和有关的工艺。

碳板

当硅片从晶棒上切割下来时，需要有某样东西能防止硅片松散地掉落下来。有代表性的是用碳板与晶棒通过环氧粘合在一起从而使硅片从晶棒上切割下来后，仍粘在碳板上。许多状况下，碳板经修正、打滑、磨平后，在材料准备区域进行粘接。

碳板不是粘接板的唯一选择，任何种类的粘接板和环氧结合剂都必须有如下几种特性：能支持硅片，防止其在切片过程中掉落并能容易地从粘板和环氧上剥离；还能保护硅片不受污染。其他粘板材料尚有陶瓷和环氧。

图 2.1阐明了碳板与晶棒的粘接。

图 2.1 粘棒示意图

石墨是一种用来支撑硅片的坚硬材料，它被做成与晶棒粘接部位全都的形状。大多数状况下，

碳板应严格地沿着晶棒的参照面粘接，这样碳板就能加工成矩形长条。固然，碳板也可以和晶棒的其他部位粘接，但同样应与该部位形状一致。碳板的形状很重要，由于它规定能在碳板和晶棒间使用尽量少的环氧和尽量短的距离。这个距离规定尽量短，由于环氧是一种相当软的材料而碳板和晶棒是很硬的材料。当刀片从硬的材料切到软的材料再到硬的材料，可能会引起硅片碎裂。

碳板不仅在切片时为硅片提供支持，而且也在刀片切完硅片后行经提供了材料，保护了刀片。这里有某些选择环氧类型参照：强度、移动性和污染限度。粘接碳板与晶棒的环氧应有足够强的粘度，才能支持硅片直到整根晶棒切割完毕。要找到这样的环氧并非难事，但还要考虑到污染限度，因此，它必需能很简洁地从硅片上移走，只有最小量的污染。一般地，环氧能很简洁在热的乙酸溶液中溶解，或用其他的措施解决。所有这些措施，都应对硅片导致尽量低的污染。

刀片

当从晶棒上切割下硅片时，期望切面平整、损伤小、沿特定方向切割并且损失的材料尽量小。任何的不能满足这些最低原则的切割措施都不能被采用。有一种速度快、安全可靠、经济的切割措施是很值得的。

当进行切片时，刀片所切下处或边缘处的材料都会损失，因此，更但愿是一种低损失量的切片措施。这种损失量称为刀片损失。刀片损失是指材料损失的总量，由于这个损失是由于刀片在开槽时的移动而导致的。如果在切片过程中损失更少的量，那就意味着从同根晶棒上能切下更多的硅片，也就是降低了每一硅片的成本。

在半导体公司，一般只有几种切割措施被采用。两种一般被应用的措施是环型切割和线切割。环型切割一般是指内圆切割，是将晶棒切割为硅片的最广泛采用的措施。

内圆切割

内圆切割正如它的名字一样，切割的位置在刀片的表面。刀片是由不锈钢制成的大而薄的圆环。刀片的内侧边缘镀有带钻石颗粒的镍层。这一钻石镍的镀层提供了用来切割晶棒的表面，（见图 2.2）。对于 150mm 的硅片，每刀用时 3 分钟。

图 2.2

内圆刀片的构成和厚度

对一典型的内圆刀片，其中心部位由约 0.005英寸的不锈钢制成，镍-钻石涂层是不锈钢刀片边缘两侧约 0.003英寸。内圆刀片的内侧边缘总厚度约为 0.0125英寸。这样，材料损失厚度略不小于刀片的最厚度，大概在 0.013英寸左右。

镍-钻石涂层的厚度是内圆刀片的一种重要参数。很明显，这一厚度越小，刀片损失也就越少。但是，如果涂层太薄的话，刀片切下的途径太窄，刀片可能会有更大潜在可能冲击边缘，假设刀片发生任何偏差而撞击到边缘，硅片就会受到损伤，在接下来的环节中就需要清除更多的材料。因此，有一种最合适的镍-钻石涂层能得到最低的材料损失。

不管金属的污染，不锈钢由于它的特性而被作为内圆刀片普遍采用的核心材料。不锈钢有高的延展性能容许刀片有很大的张力，这种强的张力能使刀片绷的很紧很直，从而在切割时能保持刀片平直。钢的另一种有利之处就是它很耐用。这种经久的耐用性，能额外使用同一刀片而不需更换，从而使硅片的生产成本降低。这是很重要的由于更换一把刀片需耗时 1.5小时左右。

记住在切片时使用了不锈钢也很重要，由于硅片会带有大量的金属离子。在硅片进行高温热解决之前，必须将金属从表面清除。否则，任何高温的过程都会使金属离子扩散进硅片而不易清除了。

内圆刀片

用内圆刀片来切割晶棒的因素是它有低的刀片损失，内圆刀片在开始塑性变形后，被张紧在鼓上。

? 这已超过了不锈钢的伸展点，为了能充分阐明这个条件，要先简介几种术语。压力是描述单位能承受的重量；张力是指变化后的长度与原始长度之比。一般用压力-张力曲线来表达材料特性。如图 2.3所示，可以得到材料的伸展点和最后延展强度。伸展点是指材料在这一点上停止了按施加在其身上力比例伸展。从所画的图上可以看出，压力-张力曲线最后成了线性关系。当压力超过一定数值时，材料就开始迅速伸展而增长的压力很小。材料没有完全

失效所能承受的最大压力称为最后延展强度。在压力-张力曲线上，它处在最高点，这点后来，

如果材料再承受任何一点压力都会导致材料断裂。图

2.3

图 2.3为内圆刀片张紧时的典型压力-张力曲线。当刀片伸展至塑变区域后，就变得很刚直了。这就使不锈钢刀片有一中心厚度约 0.006英寸左右，要达到同样的限度，外圆刀片的厚度是它的十倍多。厚度为 0.0125英寸的内圆刀片，每切一刀，就损失一片硅片的 50% 厚度。如果刀片有其十倍厚，那么每切一刀，硅片的 500% 厚度都损失了。这就导致硅片的数量减少为原来的 1/4（见图 2.4）。硅片数量的减少直接导致其成本的明显上升。

图 2.4

内圆刀片的切片运动类似于一种研磨形式。研磨剂（钻石）混合在镍金属内，钻石是非常硬的物质，能刮去任何其他物质的外表，尚有 两种相近硬度的材料见莫氏硬度级别。

莫氏硬度级别

莫氏级别是在 1800 年月晚期，由 Friedrich Moh 发展起来的。他的级别图是依据一种材料切割其他材料而得出的。在这级别图上，任何硬度高的材料都能切割硬度比它低的材料。这一级别图范畴从扑面粉—最软的材料之一，到钻石—最硬的材料都涉及在内了。图 2.5列出了十种元素化合物按硬度顺序排列的莫氏原始级别图。硅与石英有相近的硬度。从图上可看出，钻石能切割硅。

图 2.5

当钻石涂覆在内圆刀片上切割晶棒时，它是在研磨硅材料。含钻石的研磨层在硅体内不断地研磨，导致硅的微观断裂而产生细微碎片。当刀片通过材料时，某些碎片也被带出来了。这个不断摩擦的过程，产生热和许多颗粒。一种润滑冷却溶液，一般如水或水溶性润滑剂，用来清除相切位置的颗粒。这种液体能控制硅沫并使温度下降。

内圆切片尺寸

切割硅片需要的内圆刀片尺寸是很大的，如对于 200mm 硅片，刀片的外圆直径约在 32 英寸左右。这样大的尺寸是为了使内径足够大，从而能将粘有碳板的晶棒都能通过。此外，刀片自身也必须可以切割晶棒的任何位置而不会使晶棒遇到刀片外侧的张紧圈。内径也相对较大，

由于有了大的洞，刀片才能变得更硬。

对于相似尺寸的晶棒，有一种措施能减小刀片的尺寸，就是在切割前将晶棒滚圆。这个安排有利之处在于内圆切片时，**只要通过晶棒一半的路程**，因此，不需要如此大的直径。问题是，这种措施在切片时，要不引起硅片中心的 θ 很困难。另一问题是它会导致碎裂并使硅片中心产生缺陷。随着晶棒直径的增大，内圆切片变得越来越不实用。

切片损伤

当切片机在切割晶棒时，会引起诸多损伤。这些损伤来自于切片过程切磨的形式。这一过程会导致硅片产生许多细微破裂和裂纹，这种损伤层的平均厚度约为 $25-30\mu\text{m}$ 。这样的损伤存在于刀片与晶棒接触的任何地方。由于切片接触的是硅片的表面，所以硅片表面存在着许多这样的损伤，这就意味着在接下来的过程中必需去除掉这些损伤，硅片才会有用。

如果刀片有任何振动，损伤层就会更深，有时候甚至是平均厚度的 2-3 倍。为了防止损伤层的延长扩展，必需小心认真地操作，尽量消退刀片振动。有些损伤如果很深的话，在磨片之后仍能在硅片上看到。

刀片偏转

硅片弯曲和厚度偏差的重要本源在切片过程。影响硅片形状的最重要因素是切片过程中的刀片偏转。如果刀片在切片时发生振动，那么很有可能在刀片所在一侧的损伤层会比另一侧更深。不同的是，因刀片振动引起的损伤称为切片微分损伤。

在切片过程中，刀片偏转监测器能提供刀片偏转的实时监测。刀片偏转监测器的安装尽量接近于切片区域。这个位置一般接近刀片的内圆处，并接近刀片切入晶棒的入口或刀片退出时的出口（如图 2.6 所示）。监测器是通过刀片处产生的旋涡来测试的。刀片偏转监测器的输出与反馈回路有关，当监测器探测到偏离时，这个回路能自动纠正途径偏离。在这个系统中，有一力量能纠正刀片偏差。这个系统使硅片切片时，有更少的翘曲度。

图 2.6

在内圆切片时，刀片偏离的重要因素是对于刀片的切片速率而言，刀片的进给太快了。一般内圆刀片的进给速度是 $5\text{cm}/\text{min}$ 。另一因素可能是钻石变脏了或者脱离了镍的涂层。当刀片

由于脏而开始浮现偏差时，就应进行修刀了。

修刀过程是使刀片的涂层暴露出的、锐利的钻石。修刀一般是将碳化硅或氧化铝的研磨棒切片来完毕。研磨棒能将镍钴涂层的外层磨去从而显露出的尖锐的钻石。要检查修刀与否成功，唯一的措施就是再进行硅棒的切割。尽管修刀能生产的尖利的表面，但除非必须，否则不大进行，由于每一次修刀都会减少刀片的寿命并增长机器待工时间。

问题

在切片过程中，常常会发生某些问题：硅片晶向错误，过分的切片损伤，刀片偏离，刀片失灵和碎片。刀片失灵有几种：刀片变形、镍-钴涂层崩溃、刀片断裂。常常发生的问题是刀片变形。内圆刀片的变形可能因在张紧时的错误方式或在试图快速通过晶棒时的刀片进给速度太快。其他刀片变形的发生可能因不锈钢刀片承受的力太大导致刀片延展。刀片如果过度变形后，就不能保持笔直通过晶棒。这是由于刀片在切片时会发生抖动。刀片失灵导致的最重要的问题是引起硅片断裂和大量的表面损伤。

碎片（刀片退出时）

无论任何方式，当刀片切割某种材料即将完毕时，刀片在材料底部时，可能会引起材料碎裂，这种现象称为 **exit chip**。碎片的发生是由于在切割的最后阶段，在材料的社区域中存在高的局部应力。当持续施加相似大小的压力在越来越薄的材料上，材料就无法再承受这样的压力。这片材料就开始断裂，材料的碎片就会松散。这些碎片尺寸相对较大，使硅片缺损，这样的硅片就不能使用了。图 2.7 列举了碎片的发生。

图 2.7

最小限度（碎片）

有两种措施防止碎片的发生，一种措施是在最后阶段，减小刀片施加在硅片上的压力。在最终，可以通过降低刀片进给速率来减小压力。另一种措施是在晶棒外侧位置贴上几片材料，使切割完毕。外表面额外材料的生长提供载体有助于切片的完毕。这样就减少了硅片较薄边缘的压力，硅片也不会碎裂了。

有一防止碎片的系统可供选择，可以消除任何碎片的发生。就是使晶棒直径生长的稍大一点，那么在切片时，虽然发生碎片，滚磨去碎裂处，仍有足够的材料。这种措施的应用使晶棒直径大 1.3mm 左右。切片之后，多余的材料就会被磨去。有了足够的材料，那么所有碎片的发生几乎都能涉及在内了。

应指出的是，碎片大多发生在 (100) 晶向的硅片上，因素是 (100) 的硅片，切割垂直于 (110) 和其他 (100) 晶面。沿着 (110) 晶面切割很容易引起硅片碎裂。因此，在切割 (100) 向的硅片时，硅片有沿 (110) 晶面发生碎裂的趋向。

在 (111) 向的硅片上，(111) 面是与硅片的面相平行的。单晶硅的裂纹大多沿着 (111) 面。因此，任何裂纹的发生平行于切片方向而不会引起碎片。

除了内圆切割外，尚有线切割。尽管线切割已使用了几种世纪，但被应用到半导体厂家仅仅在近来 20 年内。它们最初需要昂贵的投资，但因在切片损失上的削减能使其不久收回本钱。线切割使用研磨砂浆来切割晶棒，砂浆贴附在接触并进入晶棒的钢线上，钢线会产生压力压迫研磨剂与晶棒接触，这样在砂浆和晶棒间的压力接触使材料被磨去。

线切割的基本构造很简单，一根小直径的钢线绕在几种导轮上使钢线形成梯形的形状。导轮上有凹槽能保证钢线以一定距离分隔开。一根持续的钢线集中绕导轮的一个个凹槽上，形成许多相似间隔的切割表面。线之间的空间决定了想要的硅片厚度。钢线的移动由线轴控制，由于整个系统只有一根钢线。线的两端分别绕在 **线轴** 上，晶棒慢慢向上（或向下）移动，穿过钢线，钢线能从晶棒上同步切割下许多硅片。图 2.8 是线切割的简单示意图。如 150mm 硅片，整根晶棒的切割完毕只需约 5-8 小时。

图 2.8

典型的线切割机使用的钢线直径约在 0.006 英寸。这样小的尺寸所导致的切片损失只有 0.008 英寸。单根线一般有 100km 长，绕在两个线轴上。如此长的钢线的应用使线的单个区域每次都不会与砂浆及晶棒接触很长时间。这种与砂浆接触时间的削减有助于延长钢线的寿命。而且，长的钢线意味着在一种方向上的进给能维持相当长的时间而不需要转换方向通过反向的绕线回来。

