

晶圆背面研磨与湿式刻蚀应力消除工艺

1.前言

在许多 IC 工艺后期都会进行晶圆背面研磨 (Backside Grinding, BG), 使晶圆薄形化, 以利后续晶圆切割及封装等。例如: 在智能卡应用上, 必须将晶圆厚度由 700~600 μm 研磨到 200~40 μm 。在晶圆背面研磨之后, 有许多产品需要进行后续工艺, 包括: 离子布植 (Ion Implementation)、热处理 (Heat Treatment) 和晶圆背面金属 (Backside Metal; BM) 沉积等。由于晶背面研磨后会产生应力和翘曲, 如果晶圆应力过大, 将会延伸到正面的组件区域。当晶圆薄形化和变脆时, 晶背研磨所产生之应力及变形将危及后续工艺之良率。例如: 胶膜去除 (De-tapping)、晶圆持取 (Wafer Handling) 和封装 (Packaging & Assembly) 等工艺, 所以必须消除晶圆之应力及损伤层。

当半导体朝向更薄, 更小构装体积之趋势时, 晶圆薄化逐渐成为重要关键技术。使用薄化晶圆, 可减少构装体积, 允许每单位体积内具备更多功能。在一些情况下, IC 构装要求硅晶圆厚度薄化到 30 μm 。一般晶圆薄化目的包括: (1) 晶圆薄化可增加芯片之柔软性; (2) 晶圆薄化可容许更高热膨胀系数的不匹配性; (3) 晶圆薄化可以降低芯片的热阻抗, 所以可加快芯片的散热, 尤其在组件之开关速度持续增加之时; (4) 晶圆薄化可将多个芯片整合在一个构装体内, 进而应用 3D-IC 芯片堆栈之系统级构装 (System In Package; SIP)。

在各种组件应用上, 目前对于晶圆薄化之厚度需求, 如表 1 所示。

晶圆薄化最常使用之方法为晶圆背面研磨工艺, 虽然背面研磨有着相对较低之成本, 但是却会在硅晶圆

元件应用	晶圆薄化之厚度
内存堆栈(Memory Stacking) 构装	70~50 μm
功率组件(Power Device)	200~70 μm
智能卡(Smart Card)	200~40 μm

表1. 不同组件对于晶圆薄化之厚度需求

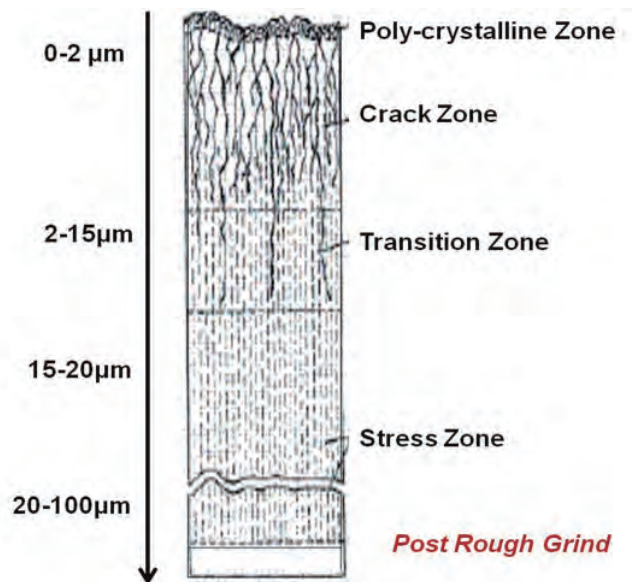


图1. 晶圆在研磨时遭受到机械摩擦力与热应力, 产生损伤层之厚度。

上留下微裂痕 (Micro-Crack) 和晶体差排 (Crystal Dislocation) 等缺陷。这是由于晶圆在研磨时遭受到机械摩擦力与热应力, 导致晶圆表面产生损伤层 (Damage Layer), 引发裂缝产生 (Crack Initiation)、裂缝延伸 (Crack Propagation), 及最后产生晶圆破裂 (Wafer Fracture)。此外, 晶圆翘曲也与晶圆表面损伤层有关。如图 1 所示晶圆在研磨时遭受机械研磨与热应力, 所产生之应力损伤层分布, 一般应力损伤层厚度为 10~25 μm 。

为了消除晶圆应力、去除损伤层及翘曲, 进而增加晶圆强度。一般在晶圆研磨后会进行后续消除损伤层步骤, 例如: (1) 研磨后进行抛光、退火; (2) 研磨后进行抛光、湿式化学刻蚀; (3) 研磨后进行抛光、干式刻蚀等。由于抛光或干式刻蚀均需增加额外的高成本, 而退火处理亦需花费冗长之工艺时间, 在温度 300~500 $^{\circ}\text{C}$ 下, 退火工艺时间为 1~3 小时。

考虑降低成本与缩短工艺时间, 一般使用湿式化学刻蚀来消除晶圆应力损伤层, 尤其为了增进硅晶圆刻蚀之均匀度, 都会采用单晶圆旋转刻蚀法 (Single Wafer Spin



UFO-300(12" Single Wafer Processor) 弘塑科技

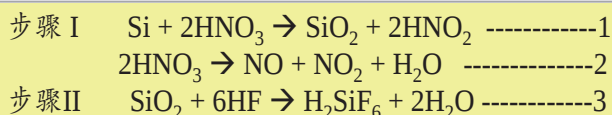
图2. 弘塑科技所设计制造之12自动化湿式单晶圆旋转刻蚀设备。

Etching Method), 以消除晶背研磨所产生之应力和翘曲。单晶圆旋转刻蚀法较易控制晶圆刻蚀之均匀度, 大大提升刻蚀质量。本研究采用弘塑科技所设计制造之自动化 UFO 设备 (如图 2 所示), 来进行硅晶湿式刻蚀工艺。经由设备之特殊流场设计与机构改良, 实验结果显示: 12 吋硅晶圆其单一晶圆内 (Within One Wafer) 及晶圆与晶圆间 (Wafer to Wafer) 之刻蚀均匀度均可达到 5% 之内。目前弘塑科技 UFO M3-Type 机型可持取晶圆翘曲度达 $\pm 4\text{mm}$, 在薄化晶圆持取能力方面, 可持取一般晶圆最薄厚度为 $150\mu\text{m}$, Taiko 晶圆最薄厚度为 $50\mu\text{m}$; 可回收三种化学药水, 使刻蚀液循环过滤回收再使用, 一台设备可整合四个工艺腔体, 进而大大提高设备产能与降低生产成本。以下将对于硅晶圆的湿式刻蚀机制进行探讨, 以了解机台设计需要考虑那些因素, 进而达到工艺需求。

2. 硅的湿式刻蚀原理及机台设计考虑

在半导体工艺中, 硅的酸性刻蚀是一种各向同性刻蚀工艺, 也就是说硅晶体的各个方向受到相等速率之化学刻蚀。硅的酸性刻蚀液, 通常由不同比率的硝酸 (HNO_3)、氢氟酸 (HF) 及一种缓冲液 (例如: 水、醋酸、磷酸等) 所组成。刻蚀的反应机构, 包含两个步骤: (1) 首先是利用硝酸 (HNO_3) 来氧化硅芯片表面, 如式 1 及式 2 所示; (2) 接下来硅芯片表面所形成的氧化物 (SiO_2), 可被氢氟酸 (HF) 溶解而去除, 如式 3 所示。所以硝酸是扮演氧化剂, 而氢氟酸则为溶剂。在化学反应动力学的考虑上, 以上反应式的刻蚀速率, 系由刻蚀液的扩散或化学反应所控制。当刻蚀液中含有

较高浓度之硝酸时, 刻蚀速率由氧化物的溶解速率所决定; 然而, 当刻蚀液反应含有较高浓度之氢氟酸时, 则刻蚀速率由硝酸浓度所决定。



2.1 扩散反应控制

根据 Fick 扩散定律, 扩散速率正比于扩散系数与氧化剂之浓度梯度。而氧化剂之浓度梯度又与扩散边界层厚度成反比。如图 3 所示为湿式刻蚀之扩散边界层理论示意图, 在进行湿式刻蚀时, 首先反应物利用扩散效应, 通过一层薄薄的扩散边界层, 以到达被刻蚀薄膜表面。然后, 这些反应物将与薄膜表面的分子产生化学反应, 并生成各种反应生成物。这些位于薄膜表面的反应生成物, 也将利用扩散效应, 通过扩散边界层到达溶液里, 而后随者溶液排出。由此观之, 设备必须能够提供: 晶圆转速调整, 喷嘴旋臂摇摆速度与角度调整, 使化学刻蚀液能均匀分布于晶圆表面, 以降低扩散边界层厚度, 进而提高氧化剂 -- 硝酸之扩散速率及最终刻蚀速率。扩散控制的刻蚀反应, 对于微量的温度变化不至于太敏感, 然而对于晶圆转速与刻蚀液分布均匀性则十分敏感。因此在整个刻蚀反应过程中, 设备之晶圆转速与刻蚀液分布, 则必须能够稳定控制。

2.2 化学反应控制

当晶圆转速调整程度已到达一定极限时, 刻蚀反应速率将由扩散控制转为化学反应控制。此时, 维持稳定的温度及正确的氢氟酸浓度就变得非常重要。为了维持稳定正确之氢氟酸浓度, 必须有自动且持续的氢氟酸补充。至于缓冲液功能方面, 其不仅具有缓冲刻蚀速率之作用, 并且

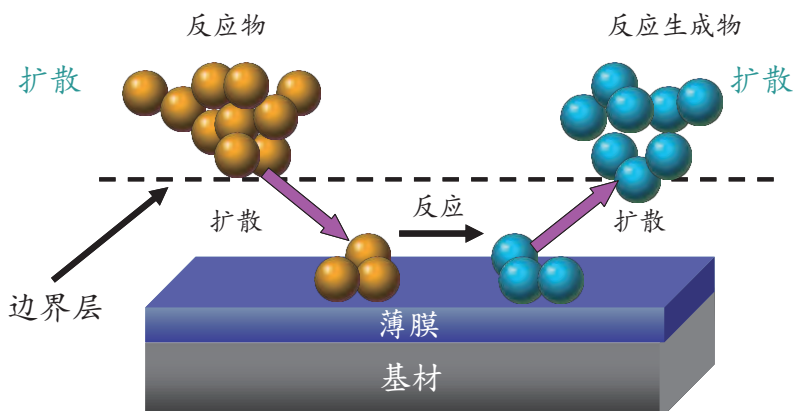


图3. 湿式刻蚀扩散边界层理论示意图。

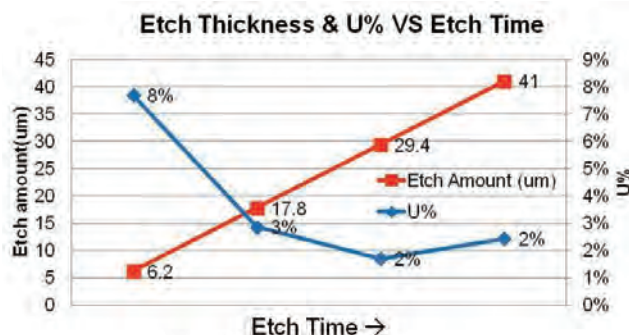


图4. 固定转速 (400rpm) 连续工艺之刻蚀厚度及均匀度与刻蚀时间之关系图。

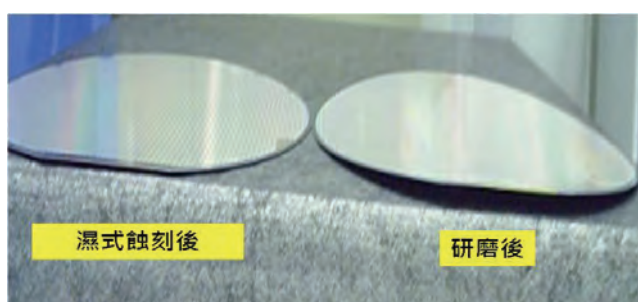


图5. 晶圆刻蚀前后之侧视照片。

可做为改善芯片表面湿化程度之界面活性剂。良好的湿化条件，可以促进刻蚀反应之均匀性，避免晶圆表面出现不规则的刻蚀结构。因此应用于湿式刻蚀工艺之缓冲液，必须具备以下性质：(1) 在 HF/HNO_3 中，具有一定的化学稳定性；(2) 在刻蚀过程中，不会与反应产物发生进一步反应；(3) 可溶解在 HF/HNO_3 中；(4) 可以湿化晶圆表面；(5) 不会产生化学泡沫。

2.3 表面污染物

与刻蚀有关之表面污染物可分为两方面：(1) 在刻蚀前存在的表面污染物；(2) 经由刻蚀反应所产生之表面污染物。刻蚀前之表面污染物，其中包括：颗粒物质、有机残留物、或无机薄膜表面残留物，而且其不同于被刻蚀之薄膜。因这些表面污染物有可能遮蔽将被刻蚀之表面，或者与刻蚀化学液产生化学反应，因而大大影响到刻蚀速率与刻蚀平坦度，所以必须先做前处理及改善刻蚀液之流场分布，以去除这些表面污染物。

2.4 刻蚀均匀度

单晶圆旋转刻蚀设备常用工艺步骤：

(1) 预先湿润 (Pre-wet)：先使用 DI 作预先湿润，如此可以使刻蚀化学品快速均匀涂布于晶圆表面，以提高刻蚀之均匀性。

(2) 刻蚀工艺：调整晶圆转速与喷嘴旋臂摇摆速度与移动角度，使化学刻蚀液能均匀分布晶圆表面。

(3) 去离子水清洗 (DI Rinse)：此步骤必须有效去除化学品，避免残留于晶圆表面上。

(4) 旋干 (Spin Dryer)：晶圆快速旋转干燥，防止水痕之形成。

经由流场之设计与机构改良，目前弘塑科技所设计制造之自动化 UFO 湿式刻蚀设备，12 吋硅晶圆其单一晶圆内及晶圆与晶圆间之刻蚀均匀度均可达到 5% 之内，如图 4 所示为固定转速 (400rpm) 连续工艺之刻蚀厚度及均匀度与刻蚀时间之关系图。

2.5. 晶圆应力和翘曲度消除

硅晶圆背面研磨所产生之缺陷，一般包括：研磨损伤层、晶体缺陷和微裂纹等，经由单晶圆旋转设备进行硅湿式刻蚀工艺，可以大大消除应力及损伤层，进而增加晶圆与芯片之强度。图 5 为 12 吋晶圆刻蚀前后之侧视照片，右边为刻蚀前之晶圆，因其经过晶圆背研磨后而产生翘曲，所以晶圆无法紧密贴于水平工作台上；而左边为经过湿式刻蚀后之晶圆，由于晶圆应力和翘曲度已被消除，所以晶圆可以密合贴于水平工作台上。

2.6. 晶圆背面金属沉积之特殊刻蚀表面需求

如果在晶背研磨后，需要进行晶圆背面金属沉积工艺时，有时为了增加金属沉积之附着力，则可在湿式刻蚀液中添加一些特殊药剂，使晶圆在消除应力刻蚀后，其晶圆表面能够具备微粗糙化特性，以增加金属沉积时之附着力。图 6 为晶圆经过研磨后与湿式刻蚀应力消除工艺后，使用 SEM 观察晶圆表面之比较照片。

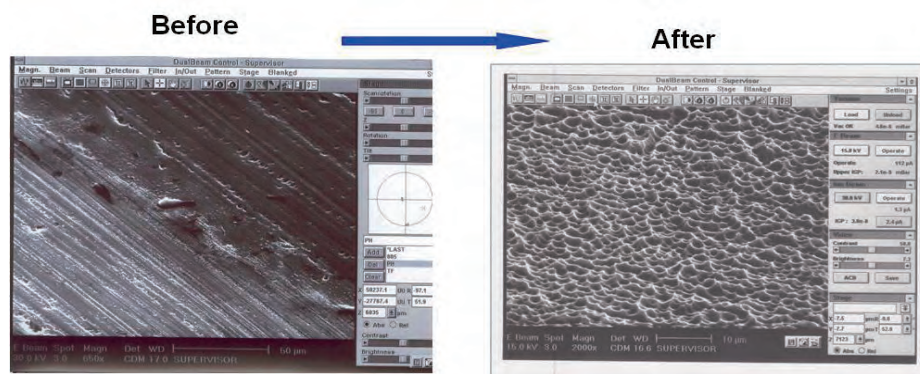


图6. 晶圆经过研磨后与湿式刻蚀应力消除工艺后，使用SEM观察晶圆表面之比较照片。

3. 结论

使用硅湿式刻蚀工艺，可以大大消除晶圆背面研磨所产生之应力及损伤层，进而增加晶圆强度。在本文中已针对硅湿式刻蚀工艺原理及设备之设计考虑作一番探讨。本研究采用弘塑科技所设计制造之自动化 UFO 设备，进行硅晶圆刻蚀工艺，经由设备流场之特殊设计与机构改良。实验结果显示 12 吋硅晶圆刻蚀均匀度可达到 5%。目前弘塑科技 UFO M3-Type 机型可持取晶圆翘曲度达 $\pm 4\text{mm}$ ，在薄化晶圆持取能力方面，可持取一般晶圆最薄厚度为 $150\mu\text{m}$ ，Taiko 晶圆最薄厚度为 $50\mu\text{m}$ ；可回收三种化学药水，使蚀刻液循环过滤回收再使用，一台设备可整合四个工艺腔体，进而大大提高设备产能与降低生产成本。此外，如果在晶背研磨后需要进行晶圆背面金属沉积时，为了增加金属沉积之附着力，则可在刻蚀液中添加一些特殊药剂，

使晶圆在消除应力刻蚀后，晶圆表面能够具备微粗糙化特性，以增加金属沉积时之附着力。◆

参考文献

1. H. Robbins, and B. Schwartz, J Electrochemical Soc. 106, p.505 (1959).
2. S. Ghandi, VLSI Fabrication Principles (1982).
3. M. Heyns, P.W. Mertens, J. Ruzyllo, and M.Y.Lee. Advanced wet and dry cleaning coming together for next generation, Solid State Technology, vol. 42, No 3, pp. 37 38, 40, 42, 44, 47 (1999).
4. I. Blech, D. Dang, "silicon wafer deformation after backside grinding", Solid State Technology, pp. 73-76, August 1994.
5. J.J. Young, A.P. Malshe, W.D. Brown, T. Lenihan, D. Albert, V. Ozguz, SPIE Proc. International Conf. High Density Interconnect and Systems Packaging, Santa Clara CA US, 4428, (2001), 14-21.
6. J. Chen, I. De Wolf I., Semicon. Sci. and Tech., 18, (2003), 267-268.



業務聯繫窗口

半導體: 梁勝銓、顏榮偉

☎ : 886-3-5183030 ext.2202、2203