

大颗粒（LPC）对抛光效率和良品率的影响

—— TEOS 层的 CMP 抛光研究

摘要：随着半导体行业的蓬勃发展，作为重要工艺段的 CMP 获得了广泛的关注。而作为此工艺段的重要原料-CMP slurry，更是诸多学者研究的对象。本文将重点结合 Liu 团队 2018 年在 ECS 发布的论文：《Effects of Large Particles on MRR, WIWNU and Surface Quality in TEOS Chemical Mechanical Polishing Based on FA/O Alkaline Slurry》展开介绍^[1]。

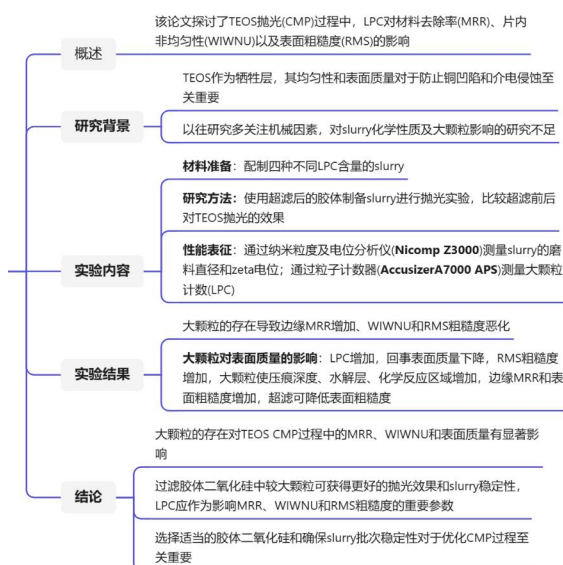
TEOS 是一种特殊的二氧化硅，以四乙基硅酸盐为原料沉积而成，作为阻挡层下的牺牲层。TEOS 的均匀性和表面质量对集成电路的可靠性有着至关重要的作用，因此，本文探讨了 LPC 对 TEOS 表面质量和抛光过程的影响。

通过实验验证，LPC 对 MRR（材料去除率）、WIWUN（片内非均匀性）、RMS（均方根粗糙度）都有显著影响：LPC 的存在导致边缘 MRR 增加、WIWNU 和 RMS 粗糙度恶化，使得 TEOS 晶圆表面质量下降，影响到抛光效率和良品率。

关键词：大颗粒计数，LPC，化学机械抛光，研磨液，Slurry

整体框架

该论文的整体框架如下所示：



一、背景

该论文指出：在大规模集成电路(GLSI)制造中，化学机械抛光(CMP)是重要的平坦化工艺之一，用于提高芯片的性能和可靠性。其中，材料去除率（MRR）、片内非均匀性（WIWNU）以及均方根粗糙度（RMS）是衡量 CMP 效果的关键指标。

以往的研究大多关注 CMP 中的机械因素，缺乏考虑 slurry 理化性质（如 pH、粘度、比重、Zeta 电位等）对 MRR、WIWNU 和 RMS 粗糙度的影响，且大颗粒和大颗粒计数（LPC）对 TEOS 的 MRR、WIWNU 和 RMS 粗糙度

的影响尚未得到广泛研究。

文中应用了一种新型 FA/O 碱性 slurry 来加速 TEOS CMP 的化学作用并提高 MRR, 对三个关键方面进行了研究并提出相关模型:

(1) MRR 与 LPC 的关系; (2) LPC 对 TEOS WIWUN 的影响; (3) LPC 对表面质量的影响。

为了达到实验目的, 需要对 Slurry LPC 等参数进行精确的检测和控制。

为达到表征目的, 文中使用了 Entegris (PSS) 的 Accusizer A7000 APS 颗粒计数器和 Nicomp Z3000 纳米激光粒度仪提供精确的大颗粒计数和粒度分布分析, 从而对 CMP slurry 的工艺进行优化。这两种仪器都具备高灵敏度和宽范围的检测能力, 适用于 CMP 领域中的颗粒检测需求。

二、实验设计

1. 样品制备:

采用离子交换法制备 4 批胶体二氧化硅, 参数相近 (平均粒径 62-63nm), 配制 FA/O 基 slurry; C4#-UF 为 C4#超滤后的样本。一共 5 个研磨液样品用于实验。详见表 2.1 和表 2.2

样品参数:

表 2.1 C1#-C4# 胶体二氧化硅参数

Colloidal Silica No.	Solid content (%)	pH	Density [kg/m ³]	Polydispersity distribution index[PDI]	Average particle size [nm]	LPC [part./ml] (≥0.5μm)
C1#	40.2	9.31	1.282	0.057	62.1	1886517
C2#	40.57	9.46	1.285	0.029	63.4	2795460
C3#	41.78	9.33	1.296	0.030	61.6	3239205
C4#	41.74	9.35	1.296	0.035	62.9	13441379
C4#-UF	41.74	9.35	1.296	0.035	62.9	1871530

表 2.2 S1#-S4# Slurry 配方

Table II. S1#-S4# Slurry formulation.

Slurry No.	Colloidal silica	SiO ₂ [wt%]	FA/O II chelating agent [ml/L]	FA/O non-ionic surfactant [ml/L]	KNO ₃ [ml/L]
S1#	C1#	20	1.5	1.8	1
S2#	C2#	20	1.5	1.8	1
S3#	C3#	20	1.5	1.8	1
S4#	C4#	20	1.5	1.8	1
S4#-UF	C4#-UF	20	1.5	1.8	1

2. 抛光和超滤:

采用旋转式 CMP 抛光机 (E460, Alpsitec, France), IC1000 抛光垫 (DOW, USA), 带有 XY 槽, 进行抛光。

每批研磨液进行 3 次实验。为了消除垫片孔隙的容浆量对将浆料颗粒输送到接触区的影响, 五种浆料的抛光顺序每次都不同。第一次抛光将 LPC 最大的 S4# 研磨液放在第一位, 第二次抛光将 (S4#) 放在第三位, 第三次抛光将 (S4#) 放在第五位。具体的 CMP 工艺参数如表 2.3 所示:

表 2.3 CMP 工艺参数

Table IV. Process parameters of CMP.

Parameters	Condition
Working pressure (psi)	1.5
Back pressure (psi)	1.5
Head speed (rpm)	87
Platen rotation speed (rpm)	93
Slurry flow rate (ml/min)	300
Polishing time(s)	60

三、结果与讨论

(1) LPC 对 MRR 的影响

结论

各个因素对TEOS抛光后的影响					
	机械因素	pH	Zeta	Mean Size	LPC
磨料	无明显影响	无明显影响	无明显影响	无明显影响	影响显著
研磨液	无明显影响	无明显影响	无明显影响	无明显影响	影响显著

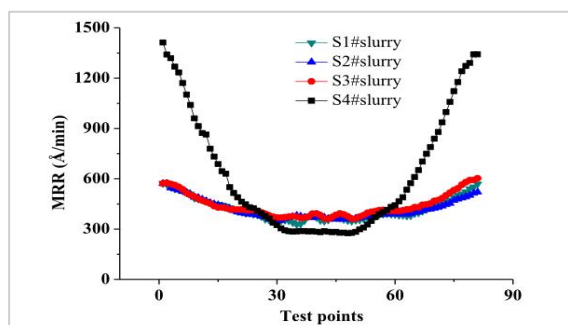


图 3.1 四组不同 Slurry 对 TEOS 的去除率曲线

图 3.1 展示了在相同的 CMP 参数下，四组不同的 slurry 对正硅酸乙酯（TEOS）进行抛光的材料去除率（MRR）曲线。S4# Slurry 的 MRR 是其他三组的 2.34 倍，使用 S4# Slurry 抛光 TEOS 后，边缘 MRR 明显高于其他三组。为了便于后续理解，此处对于 MRR（公式 1）以及 WIWNU（公式 2）的含义罗列如下：

$$MRR = \frac{h_1 - h_2}{\Delta t}$$

$$WIWNU = \frac{\sigma_{MRR}}{MRR_{Avg}} \times 100\%$$

h_1 、 h_2 分别是抛光前和抛光后 TEOS 的厚度。 MRR_{Avg} 和 σ_{MRR} 分别是平均 MRR 和 MRR 的标准偏差。

首先考虑**机械因素**的影响，在 Slurry 流速和抛光时间不变的情况下，手动调整背压、工作压力、机头速度和转盘转速，再测定 MRR，结果如图 3.2 所示：

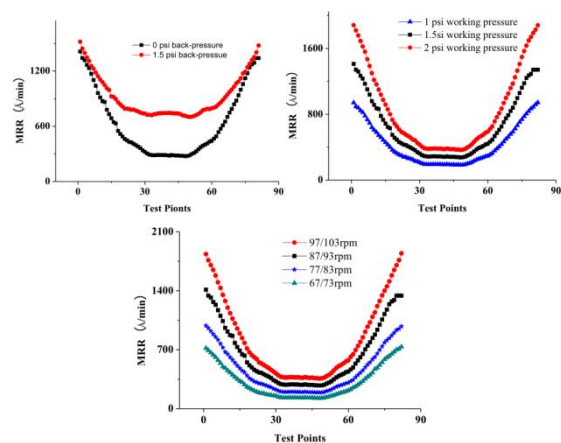


图 3.2 采用 S4# Slurry 调整压力和速度后的 MRR 曲线

调整后 S4# Slurry 的边缘 MRR 仍然明显高于中心，并且仍然高于 S1# - S3#，这表明机械因素，如压力、旋转速度不是原因；随即对 Slurry 的化学参数进行详细分析：

表 3.1 Slurry 化学参数

Table II. S1#-S4# Slurry formulation.					
Slurry No.	Colloidal silica	SiO ₂ [wt%]	FA/O II chelating agent [ml/L]	FA/O non-ionic surfactant [ml/L]	KNO ₃ [ml/L]
S1#	C1#	20	1.5	1.8	1
S2#	C2#	20	1.5	1.8	1
S3#	C3#	20	1.5	1.8	1
S4#	C4#	20	1.5	1.8	1
S4#-UF	C4#-UF	20	1.5	1.8	1

由表 3.1 分析可知，S1# - S4# Slurry 的 Zeta 电位略有不同，其他参数在误差范围内相似，没有明显偏差。然而，从图 3.3 可知，C4# 胶体二氧化硅和 S4# Slurry 的 LPC ($\geq 0.5 \mu\text{m}$) 分别为 1340 万个/毫升和 800 万个/毫升，明显大于其他三组。

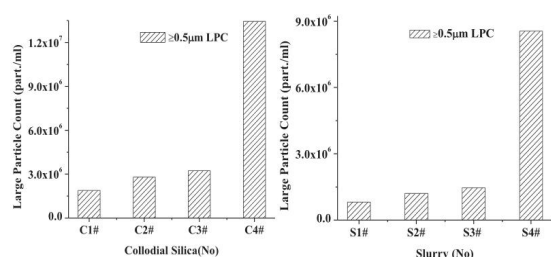


图 3.3 胶体二氧化硅和浆料中的大颗粒计数

过滤对其平均粒径影响不大，对 LPC 影响巨大。因此，推测大颗粒与边缘 MRR 有关。为了验证 LPC 对边缘 MRR 的影响，对 C4# 胶体二氧化硅进行了超滤，以减少大颗粒的数量。过滤后的胶体二氧化硅（C4#-UF）制成了新浆料 S4#-UF。用 S4#-UF 浆料抛光 TEOS，并将抛光后的数据与 S4# 浆料进行比较，以研究 LPC 对 TEOS CMP 的影响。测量结果表明， $0.5\ \mu\text{m}$ 过滤胶体二氧化硅的 LPC 从 1228 万个/ml 降至 180 万个/ml，过滤效果明显。如图 3.4 所示， $1\ \mu\text{m}$ LPC 的数量从 58 万个/ml 降至 4.9 万个/ml，其他粒径的 LPC 也有所减少。

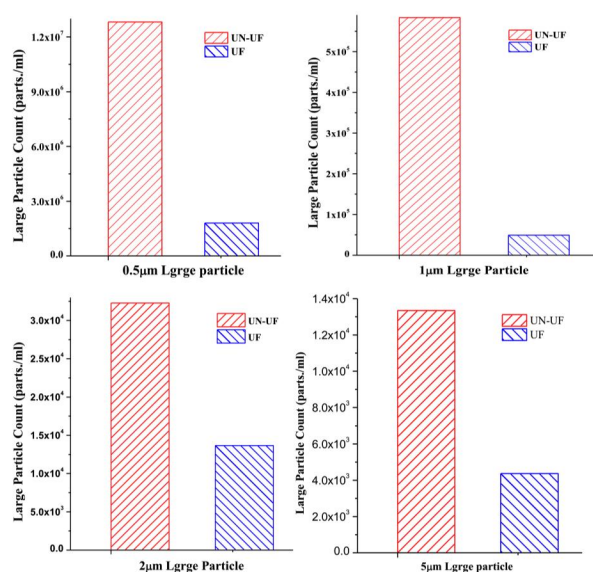


图 3.4 预过滤和过滤后胶体二氧化硅的 C4#

研磨液 LPC

图 3.5 显示了未过滤和超滤后二氧化硅胶体制备的研磨液 S4 的 LPC。 $0.5\ \mu\text{m}$ LPC 的过滤数量从 800 万颗/ml 下降至约 54 万颗/ml。 $1\ \mu\text{m}$ LPC 数量由 38 万颗/ml 减少至 16000 颗/ml， $2\ \mu\text{m}$ LPC 数量由原来的 2.5 万颗/ml 减少至 4000 颗/ml。浆料的 LPC 与胶体二氧化硅的 LPC 有明显的关系。

通过对比图 3.4 和图 3.5 可知；浆料的 LPC 与胶体二氧化硅的 LPC 之间有明显的关系。

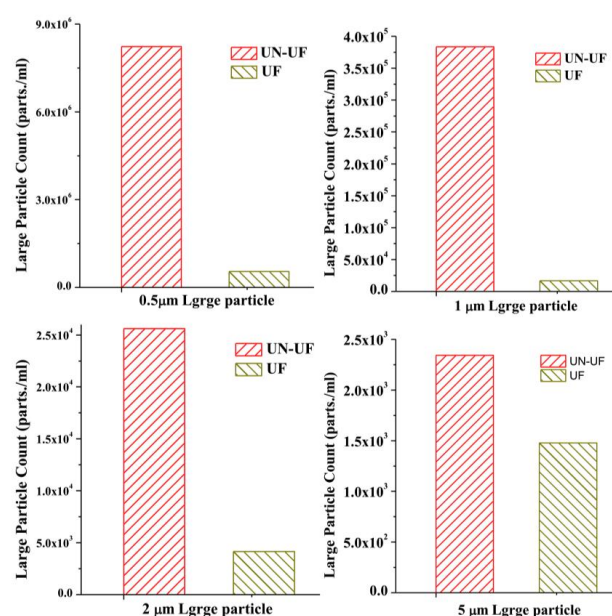


图 3.5 预过滤和过滤后胶体二氧化硅的 S4# 研磨液 LPC

S4#-UF 研磨液的 pH 值、粘度、Zeta 电位和 LPC 见表 3.2。其粒径分布图如图 36 所示。超滤对浆料的其他参数影响不大。

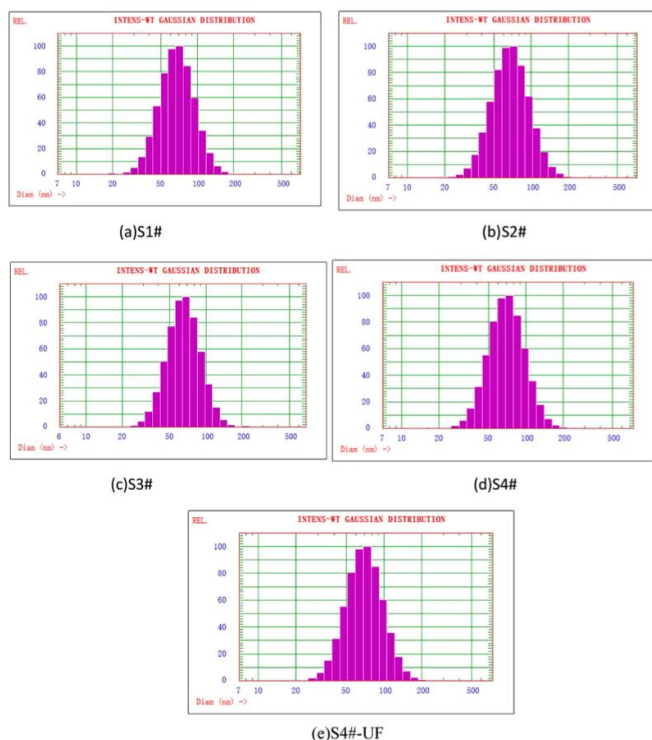


图 3.6 S1#-S4#和 S# -UF 粒度分布图

过滤效果明显，达到了预期效果。测试点位于距离晶片边缘 5 毫米处。

表 3.2 S1#-S4#浆料参数

Slurry No.	pH	Viscosity [mPa · s]	Average particle size [nm]	Zeta potential (mV)	LPC [part./ml] ($\geq 0.5 \mu\text{m}$)
S1#	10.42	1.7	70.9	-46.66	859390
S2#	10.38	1.6	72.2	-48.3	1165198
S3#	10.4	1.8	68.7	-47.44	1471379
S4#	10.57	1.7	72.3	-44.5	8645604
S4#-UF	10.57	1.7	72.3	-44.5	568592

使用 S4#和 S4#-UF 浆料对 TEOS 进行抛光。测试点（距晶片边缘 5 毫米处）的 MRRs，采用 S4#-UF 浆料进行抛光的，其值明显低很多。如图 7 所示，测试点的 MRR 从未经过滤前的 $1400 \text{ \AA}/\text{min}$ 下降到过滤后的 $600 \text{ \AA}/\text{min}$ ，详情见图 3.7。CMP 过程中，垫子和载体在不同的中心上以一定的速度顺时针旋转。载体在衬垫上与晶圆同步地往复运动。粒子进入晶圆区域并随着垫旋转。一

些粒子最终重新进入晶圆区域。这可能导致边缘的有效粒子浓度高于中心。

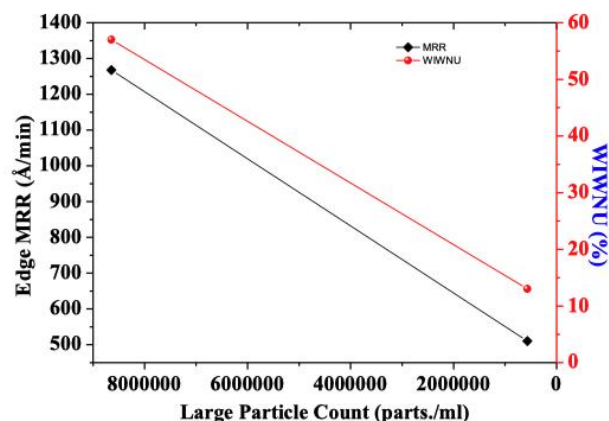


图 3.7 边缘 MRR 作为 S4#和 S4#-UF 的 LPC 的函数。

(2) LPC 计数对 TEOS WIWUN 的影响

LPC 与 WIWUN 之间存在显著的关系：

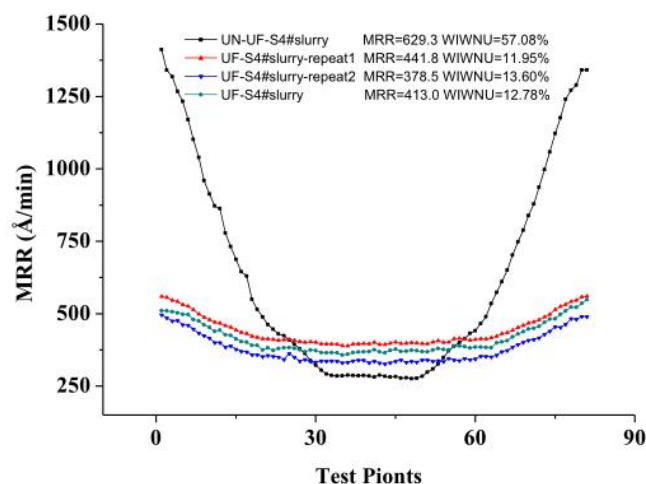


图 3.8 超滤前和超滤后 S4#Slurry 对 TEOS 的去除率曲线

如图 3.8 所示，边缘 MRR 比中心处高很多，也说明其 $\sigma \text{ MRR}$ 也增加。根据前文公式 2 所知，WIWNU 与 $\sigma \text{ MRR}$ 成正比，也意味

着 WIWNU 也同步增加。

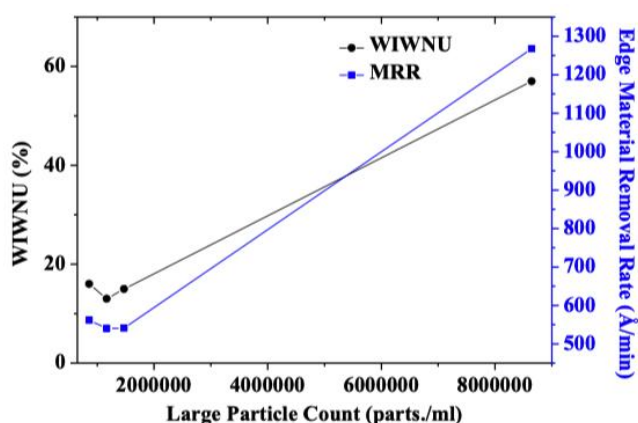


图 3.9 WIWNU 和边缘 MRR 与 LPC 的函数关系

从图 3.9 中可知，使用 4# slurry 后其 WIWNU 为 57%，当使用 1#-3# slurry 是分别是 15%，13%，and 16%。使用 S4# 研磨液的 WIWNU 是其他三组的 3.5-4.3 倍。Hejun 的混合磨料率是普通磨料的三倍，这与我们的实验趋势相似。但是，我们没有考虑 LPC 的影响。S4# 研磨液的 LPC 为 860 万颗/毫升，WIWNU 为 57.08%。S4#-UF 研磨液的 LPC 为 56 万颗/毫升，WIWNU 为 12.78%，如图 3.8 所示。LPC 与 WIWNU 之间存在明显的关系，其主要机理可分别从以下几个方面进行解释。

随着 LPC 的增加，浓度和压痕将同时增大，当研磨液的 LPC 达到适当值时，大颗粒 ($\geq 0.5 \mu\text{m}$) 和纳米颗粒 (1 - 100nm) 可能混合形成混合颗粒研磨液 (MPS)，当大颗粒参与固 - 固接触并去除表面时，MRR 会大幅增加。MPS 随着抛光垫的旋转进入抛光垫和晶圆之间的界面，并形成固 - 固接触（抛光垫、颗粒和晶圆）。图 3.10 显示了 TEOS CMP 中大活性颗粒的接触情况，磨料颗粒嵌入在抛光垫的粗糙处，摩擦方式是滑动而不

是旋转。H.Lee 的研究表明，只有活性粒子参与 CMP 中。在三体情况下，磨粒（浆料、颗粒和晶圆）大约 90% 的时间用于滚动，因此不会产生磨粒磨损，只有 10% 的时间用于滑动和去除表面。当大颗粒参与固-固接触并去除表面时，MRR 急剧增加。

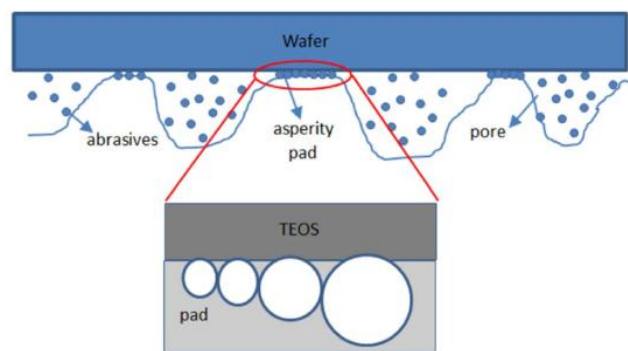


图 3.10 考虑 LPC 的抛光垫/大颗粒/晶圆微接触示意图

LPC 越大，TEOS 的犁沟越深。随着犁沟深度的增大，氨化作用越强烈，导致 WIWNU 更高。

与 LPC 试验数据对比，当料浆 LPC ($\geq 0.5 \mu\text{m}$) 达到 860 万颗/ml 时，边缘 MRR 显著升高，WIWNU 恶化，如图 3.11a、3.11c 所示。对当前大颗粒数据的分析表明，当浆料 LPC ($\geq 0.5 \mu\text{m}$) 小于 1.47 万颗/ml，它会如图 3.10b 和图 3.10d 所示。具有更低的 MRR，但是 WIWNU 更好，结果与文献中的纯数学模型一致。

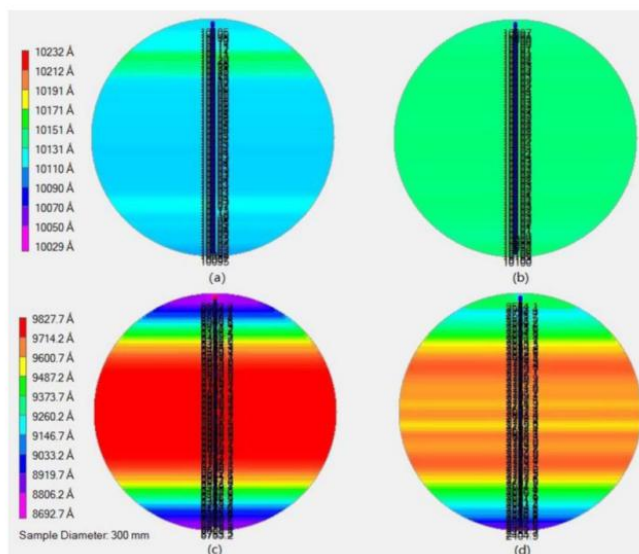


图 3.11 使用 4#Slurry CMP 前后 TEOS 直径分布图

随着在边缘处轨迹密度变密，大颗粒的浓度与纳米级颗粒的浓度同时增加。MPS 浓度的增加导致晶圆和抛光垫之间的活性颗粒增多。同时，晶圆和颗粒之间的实际接触面积增大。当 MPS 与晶片接触并嵌入衬垫中进行滑动时，摩擦力会随着 MPS 浓度的增加而增大。Hojun Lee 的实验也显示了类似的现象，即在氧化 CMP 上使用混合研磨浆时，摩擦力增大。当 MPS 磨料与 TEOS 层摩擦时，抛光液起到了冷却剂的作用。因此，磨料得到了有效冷却。由于 TEOS 的导热性较差，局部温度会升高。氧化硅的硬度随温度升高而降低。高温易导致 TEOS 层塑性变形。

TEOS CMP 是晶圆表面化学和机械活动的协同效应。TEOS 作为一种酸性氧化物，在碱性条件下会与羟基离子发生反应，副产品是可溶性硅酸盐。由于二氧化硅颗粒在浆料中对 TEOS 的压痕作用，水合层迅速在 TEOS 表面形成。本文在浆料中加入了螯合剂 FA/O。它是一种有机胺碱 $R(NH_2)_4$ ，可与硅酸盐发生反应。反应产物 $[R(NH_3)]$

4] $(SiO_3)_2$ 是一种易溶于水的水合酸铵盐。随着研磨液的流动，它很容易从 TEOS 中去除。如果 OH^- 和 $[R(NH_3)_4]^{4+}$ 的浓度增加，则 TEOS 的水解速度会加快。当 FA/O 螯合剂与水反应时， $[R(NH_3)_4]^{4+}$ 离子会加速水合硅酸盐的溶解。考虑到化学机制，由于 FA/O 和 TEOS 之间的相互作用，边缘的较大接触面积也会增强表面的化学活性。LPC 越大，TEOS 的压痕就越深。随着压痕越深，氨化作用越强烈，导致 WIWNU 越高。当浆料 LPC 达到 860 万 颗/ml 时，黏度会变差。然而，当 LPC 不到 860 万 颗/ml，对 WIWNU 只有轻微的影响。

(3) LPC 对表面质量的作用

随着 LPC 的增加，更多的大颗粒参与到 CMP 过程中。因此，压痕会变深，表面质量会下降。

为了找出表面质量与大颗粒之间的关系，使用四组不同的 Slurry 进行抛光之后，进行 AFM 测量以评估抛光后的表面质量，表面形貌结果以均方根粗糙度 RMS 表示。

如图 3.11 所示，S1# - S3# 抛光之后的 TEOS 的 RMS 粗糙度值小于 1 nm，如图 3.12 所示，S4# 抛光之后的 TEOS 的 RMS 粗糙度值为 1.65 nm，表明参与 CMP 过程的大颗粒会影响表面质量。

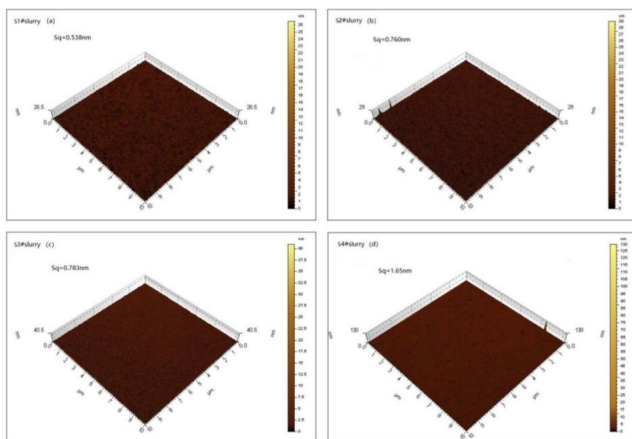


图 3.11 1#-4#浆料抛光后 TEOS 的 AFM 概况

这些结果表明，CMP 工艺中参与的大颗粒会影响表面质量。主要机理可从以下几个方面解释。

大颗粒磨料比普通颗粒大，压痕深度也更大。在磨料颗粒的机械作用下，软化的 TEOS 层被去除。

根据如下公式可知，颗粒进入 TEOS 的压痕深度 δ_w 由颗粒直径 D 和晶片表面硬度 H_w 决定。压痕深度越深，TEOS 的表面水解层就越深。随着摩擦力的增加，表面温度也随之升高。在温度的作用下，发生化学反应的表面会变得更软，在大颗粒的作用下，可以去除更大的面积。

$$\delta_w(D) = f(H_w) D$$

如图 3.13 所示，颗粒尺寸的增加导致每个颗粒的压痕深度增加，这一点可以通过粗糙度均根值得到证实。每个颗粒压痕深度的增加是摩擦力和抛光率增加的原因。

当大颗粒参与 TEOS CMP 时，在机械作用下会产生更大的压痕，化学反应区域也会

更大。在氢氧化物和螯合剂的共同作用下，TEOS 的水解率和 $(\text{SiO}_3)^{2-}$ 溶解率同时增加。由于边缘的大颗粒浓度大于中心，在 FA/O 的作用下，边缘的 MRR 会更高。因此，相较于大颗粒较少的研磨液而言，晶片边缘的表面粗糙度也会增加。

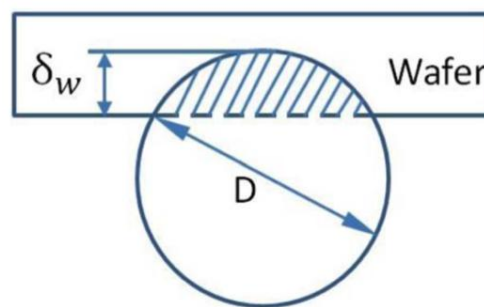


图 3.13 颗粒直径和颗粒进入晶圆表面的压痕深度示意图

为了进一步研究大颗粒对表面质量的影响，在相同的配方下，用 C4#-UF 胶体二氧化硅的 S4#-UF 研磨液对新的 TEOS 晶片进行了抛光。在 CMP 之后，用原子力显微镜在测试点对 TEOS 晶圆进行测试。每个样品选取四个测试点，平均有效值和变化情况如图 3.14a 所示。表面粗糙度从过滤前的 1.65nm 降至过滤后的 0.63nm，如图 3.14b 所示。这表明采用过滤后的研磨液抛光时可以降低表面粗糙度，说明大颗粒会影响 TEOS 的表面质量。

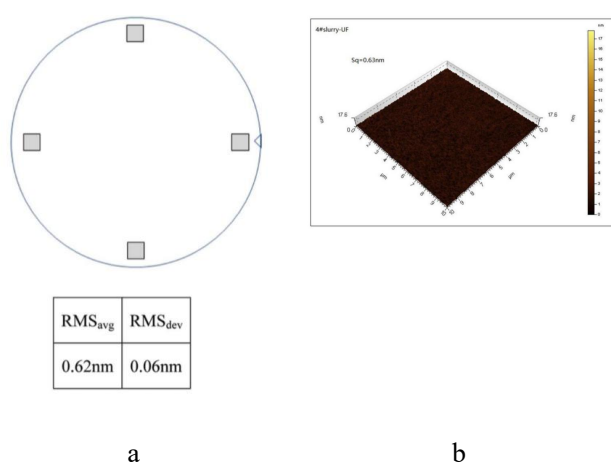


图 3.14 (a) 晶片上的原子力显微镜测试点
(b) 经 0.5 μm 过滤器超滤后由 4# 浆料抛光的 TEOS 的原子力显微镜剖面图

四、总结

本文全面研究了大颗粒 (LPC) 对 TEOS CMP 的影响。结果表明, 在浆料其他参数不变的情况下, LPC 可以提高边缘 MRR 和平均 MRR。LPC 对 TEOS 的 WIWNU 有明显的影响, 当 LPC 达到 860 万颗/毫升时, WIWNU 会变差。原子力显微镜 (AFM) 图像显示, 大颗粒对 TEOS 的均方根粗糙度有负面影响。过滤方式是一种有效的过滤掉较大颗粒 (直径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$) 的方法, 是获得更好抛光效果和浆料批次稳定性的有效方法。作为配制浆料的基本原料之一, 胶体二氧化硅的 LPC 是影响 MRR、WIWNU 和 RMS 粗糙度的重要参数。FA/O 碱性浆料可提高 TEOS CMP 的化学作用和材料去除率。

五、LPC 检测的整体解决方案

通过前面的文章论述可知, 研磨液中的 LPC 是影响 MRR、WIWNU 和 RMS 粗糙

度的重要参数。此外, 磨料中的 LPC 与最后配置成的研磨液中 LPC 有直接关系。这就意味着在 CMP (化学机械抛光) 过程中的 LPC 检测, 提供一个涵盖全流程的全面的解决方案非常关键, 因为这关系到工艺控制的精确性以及最终产品的质量。要成功地实施这一方案, 必须合理选择使用 lab 型 (实验室型) 还是 online 型 (在线型) 检测设备, 并清晰地认识到它们各自的优势和应用场景。

1. Lab 型检测方案

Lab 型检测设备通常用于更加详细和精确的分析。它们能够在更严格的控制条件下, 提供高度准确的粒子检测数据, 适用于以下场景的使用:

- CMP slurry 的制造商: 对于 CMP slurry 的制造商而言, Lab 型设备即是其产品质量确认的裁判, 检测判定是否满足出厂要求。更重要的是一个“教练”角色, 可以通过检测 LPC 的数据来合理优化其生产、制备工艺。如配方的调整、如制备设备的选择、如制备工艺参数的优化等等。为 CMP slurry 的研发、制备、质检保驾护航。

- CMP slurry 使用方的原料监控和根因分析: CMP slurry 使用法可以通过对于来料的检验来确保供应商提供的产品符合其质量控制要求。另外, 更重要的是, 当出现工艺异常或产品缺陷时, lab 型设备能够帮助工程师进行详细的根因分析, 找出问题的源头并提供修正建议。

- CMP slurry 使用方的研发和工艺优化: 在工艺开发阶段, lab 型设备可以对 CMP

工艺参数进行详细研究，提供深入的不同工艺参数下各个点位的 LPC 数据分析，从而帮助优化 CMP 工艺。诸如滤芯、管阀件、泵的选型；滤芯寿命的确认；研磨压力，CMP slurry 流速等等参数的设置。

2. Online 型检测方案

Online 型检测设备则主要用于实时监控 CMP 过程中的粒子浓度，确保工艺稳定性和生产效率。其主要应用场景包括：

- **实时过程监控：**在 CMP 生产过程中，online 型设备可以实时检测和反馈粒子浓度，帮助工程师迅速发现并纠正工艺波动，减少因工艺偏差引起的质量问题。

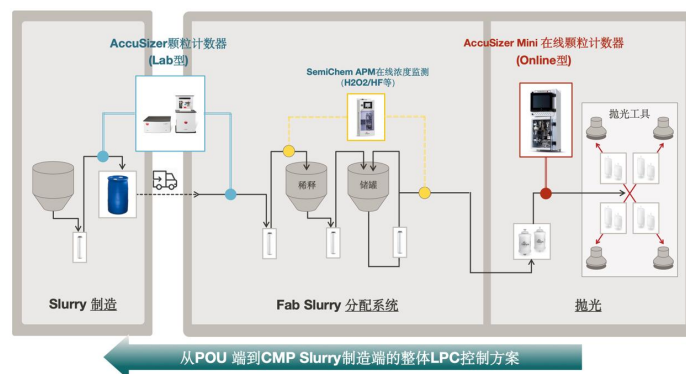
- **自动化生产控制：**对于大批量生产，online 型设备能够与工艺控制系统集成，实现自动化生产控制，确保每个批次的产品都能符合质量标准，减少人工干预。

- **成本和时间效率：**在线监控能够大幅度降低检测和处理的时间成本，提高整体生产效率，特别适用于生产速度要求高的工厂环境。

通过结合 lab 型和 online 型检测设备，可以为客户提供一个综合性的解决方案，解决他们在不同阶段遇到的痛点。Lab 型设备提供了详细分析和优化工具，适合深度研究和问题根因分析；而 online 型设备则确保了生产过程的稳定性和高效性，适用于实时监控和自动化控制。这两种设备的相辅相成，可以为客户提供更高的工艺可靠性和产品质量，满足不同阶段的需求。

Entegris 生产的 AccuSizer 系列颗粒计数

器（原美国 PSS 粒度仪公司）采用单颗粒光学传感技术（Single Particle Optical Sizing, SPOS）和自动稀释技术，检测范围从纳米级到微米级，不仅能给出粒径大小，还能对样本中颗粒数目进行定量计数。尤其能精准地计数出对于光散射和激光衍射方法检测不到的极少数的大粒子（Large Particle Count, LPC）。专利的自动稀释技术解决了其他技术手段无法解决的对高浓度样本进行颗粒计数的难题。另外，AccuSizer Mini 系列在线大颗粒计数器，可用于产线实时监控 LPC 变化，省时省力。Entegris 提供从 Fab POU 端到 CMP slurry 制造端整套的 LPC 监控解决方案。



Entegris 提供从 Fab POU 端到 CMP slurry 制造端整套 LPC 监控方案

（蓝色-Lab 型颗粒计数器；红色-Online 型颗粒计数器）

六、展望

LPC（Large Particle Count）检测在半导体 CMP 工艺中具有重要意义。通过控制研磨液中的大颗粒数量，可以有效提高晶圆表面平整度，减少缺陷，保证抛光速率和均匀性，减少设备和材料损耗。随着检测技术的发展，LPC 检测的精度和效率不断提高，为 CMP 工艺的优化和质量控制提供了有力支持。

未来，随着半导体工艺的不断进步，对研磨液的要求也将越来越高。LPC 检测作为研磨液质量控制的重要手段，将在 CMP 工艺中发挥更加重要的作用。通过不断优化 LPC 检测技术，半导体制造企业可以进一步提高产品质量和生产效率，在激烈的市场竞争中占据有利地位。

参考文献：

- [1] Liu G , Liu Y , Niu X ,et al.Effects of Large Particles on MRR, WIWNU and Surface Quality in TEOS Chemical Mechanical Polishing Based on FA/O Alkaline Slurry[J].ECS Journal of Solid State Science and Technology, 2018, 7(11):P624-P633.DOI:10.1149/2.0101811jss.