

T/EJCCCSE

团体标准

T/EJCCCSE XXXX—2025

先进制程关键器件层刻蚀及表面处理超低 损伤技术标准

Advanced process key device layer etching and surface treatment ultra-low damage
technology standard

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 层刻蚀损伤 4

5.1 物理轰击损伤 4

5.2 化学污染损伤 5

5.3 选择比不足 7

5.4 热损伤 9

5.5 电荷积累损伤 10

6 表面处理超低损伤 12

6.1 损伤类型与物理/化学机制 12

6.2 技术要求 12

6.3 检测方法 13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会提出并归口。

本文件起草单位：XXXX, XXXX, XXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

先进制程关键器件层刻蚀及表面处理超低损伤技术标准

1 范围

本文件规定了先进制程关键器件层刻蚀及表面处理超低损伤技术的术语和定义、不同类型层刻蚀损伤要求、表面处理损伤要求、检验方法及超低损伤控制。

本文件适用于半导体制造、微电子器件加工过程中使用化学、物理方法选择性去除器件特定材料层（3nm节点）的质量控制。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

层刻蚀 layer etching

通过化学或物理方法选择性去除器件特定材料层的工艺过程。

3.2

超低损伤 ultra-low damage

在先进半导体制造（如3nm/2nm节点）中，层刻蚀超低损伤技术是确保器件性能、可靠性和良率的关键工艺。

3.3

物理轰击损伤 Physical impact damage

在等离子体或离子束刻蚀过程中，高能粒子（离子、电子、中性粒子）与材料表面发生非弹性碰撞，导致晶格结构破坏、原子位移或化学键断裂的现象。其核心特征是由动能直接传递引发的机械性损伤，区别于化学反应导致的损伤。

3.4

TEM/C-V/AFM 三联动 three-way coupling of TEM/C-V/AFM

对先进制程（3nm及以下节点）物理轰击损伤采用的从原子结构（TEM）、电学性能（C-V）和表面形貌（AFM）的三维度交叉验证方法。

3.5

化学污染损伤 chemical pollution damage

在刻蚀工艺中，由反应气体副产物、腔体残留物或金属杂质引发的非预期表面化学反应，导致材料成分改变、界面特性劣化或电学性能下降的现象。其本质是非平衡等离子体化学与表面相互作用的副效应，区别于物理轰击导致的机械损伤。

3.6

选择比不足损伤 choose more than not enough damage

在刻蚀工艺中，选择比未达到工艺要求导致非预期材料被过度刻蚀或结构形貌失控的现象。其核心矛盾是化学反应特异性不足与三维结构保真度需求之间的失衡。

3.7

选择比 choose than

刻蚀目标材料与掩膜或下层材料的刻蚀速率之比。

3.8

热损伤 heat damage

在刻蚀工艺中，由于等离子体能量转化或化学反应放热导致的局部温度升高，引发材料相变、应力畸变或界面特性退化的现象。其本质是非平衡热力学过程对材料微观结构的不可逆改变，区别于物理轰击或化学污染的损伤机制。

3.9

电荷积累损伤 charge accumulation damage

在等离子体刻蚀过程中，由于非平衡等离子体中电子与离子通量差异，导致带电粒子（电子/离子）在器件表面或介电层中非均匀沉积，引发局部电场畸变、介质击穿或界面态增加的物理现象。其本质是等离子体-表面电荷输运失衡导致的静电损伤。

3.10

表面处理超低损伤 surface treatment ultra low damage

指在半导体制造过程中，对材料表面进行清洁、改性或功能化处理时，将处理过程对材料本体（包括晶格结构、电学性能和化学成分）的负面影响控制在原子级精度的技术体系。其核心目标是实现“零界面态”（ $D_{it} \approx 0$ ）和“零晶格畸变”的表面处理效果。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

Si/SiO₂界面 Silicon/Silicon Dioxide Interface 硅/二氧化硅界面

Si-H/Si-O键 Silicon-Hydrogen/Silicon-Oxygen Bond 硅-氢键/硅-氧键

SiN Silicon Nitride 氮化硅

TaSiN Tantalum Silicon Nitride 钽硅氮化物（耐热掩模材料）

TEM Transmission Electron Microscopy 透射电子显微镜

HR-TEM High-Resolution TEM 高分辨透射电镜

STEM Scanning TEM 扫描透射电镜

AFM Atomic Force Microscopy 原子力显微镜

CAFM Conductive AFM 导电原子力显微镜

SEM Scanning Electron Microscopy 扫描电子显微镜

CD-SEM Critical Dimension SEM关键尺寸扫描电镜

XPS X-ray Photoelectron Spectroscopy X射线光电子能谱

XRD X-ray Diffraction X射线衍射

SIMS Secondary Ion Mass Spectrometry 二次离子质谱

TOF-SIMS Time-of-Flight SIMS 飞行时间二次离子质谱

TXRF Total Reflection X-ray Fluorescence 全反射X射线荧光光谱

VPD-TXRF Vapor Phase Decomposition TXRF 气相分解-全反射X射线荧光

EELS Electron Energy Loss Spectroscopy 电子能量损失谱

ELLS Energy-Loss Near-Edge Structure 近边能量损失结构（EELS变体）

Raman Raman Spectroscopy 拉曼光谱

ARPES Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy 角分辨光电子能谱

SRP Spreading Resistance Profiling 扩展电阻探针

DLTS Deep Level Transient Spectroscopy 深能级瞬态谱

PAS Positron Annihilation Spectroscopy 正电子湮灭谱

OES Optical Emission Spectroscopy 光学发射光谱

QCM Quartz Crystal Microbalance 石英晶体微天平

SKPM Scanning Kelvin Probe Microscopy 扫描开尔文探针显微镜

Kelvin Probe Kelvin Probe Force Microscopy 开尔文探针力显微镜

ALE Atomic Layer Etching 原子层刻蚀

ALD Atomic Layer Deposition 原子层沉积

ICP Inductively Coupled Plasma 电感耦合等离子体

ATM Atomic Treatment Method 原子级处理方法（非标准缩写）

Duty Cycle Pulse Duty Cycle 脉冲占空比

TDDB Time-Dependent Dielectric Breakdown 经时介质击穿

RTN Random Telegraph Noise 随机电报噪声

CP Charge Pumping 电荷泵技术

Fowler-Nordheim Fowler-Nordheim Tunneling 福勒-诺德海姆隧穿效应

Dit Interface Trap Density 界面态密度

Stress Thermal/Mechanical Stress 热/机械应力

Raman Shift Raman Spectral Shift 拉曼频移

Lam Research AutoSelect™ Lam Research AutoSelect™ System 泛林集团自动选择系统（气体配比AI优化）

Lam Research Pulsion™ Lam Research Pulsion™ Technology 泛林集团脉冲等离子体技术

HBr/He Hydrogen Bromide/Helium Mixture 溴化氢/氦混合气体

5 层刻蚀损伤

5.1 物理轰击损伤

5.1.1 损伤类型及微观机制

损伤类型及微观机制见表1。

表1 损伤类型及微观机制

损伤类型	微观机制	典型形貌特征	对器件的影响
晶格位移损伤	高能离子（如Ar ⁺ 、CF ₃ ⁺ ）撞击表面原子，使其脱离晶格位置形成空位-间隙原子对（Frenkel缺陷）	TEM下可见非晶层（厚度0.5-5nm）	载流子迁移率下降（Si中电子迁移率可降低30%），漏电流增加
表面非晶化	持续离子轰击导致表面长程有序结构破坏，形成无序非晶层	高分辨TEM显示晶格条纹中断，电子衍射环出现	界面态密度（Dit）升高（>1×10 ¹² cm ⁻² ·eV ⁻¹ ），栅氧可靠性劣化
溅射坑缺陷	局部离子能量密度过高，引发材料选择性溅射形成纳米级凹坑	AFM显示表面RMS粗糙度>2nm，存在孤立深坑	光刻图形畸变，金属互联线断裂风险增加
离子注入效应	高能离子穿透表面嵌入浅表层（<10nm），引入应力场和杂质能级	SIMS检测到注入离子浓度梯度	掺杂剖面失真，PN结反向漏电增大
侧壁波纹化	离子入射角度偏差导致侧壁非均匀刻蚀，形成周期性起伏	CD-SEM显示侧壁锯齿状轮廓（pitch > 5nm）	晶体管沟道宽度波（vth），阈值电压分散性增加

5.1.2 技术要求

5.1.2.1 非晶层厚度

表面晶格无序化区域的垂直深度应 < 0.5nm。

5.1.2.2 位移损伤密度

单位体积内空位/间隙原子缺陷数量应 $< 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。

5.1.2.3 界面态密度 (Dit)

单位面积-能量范围内的界面陷阱态数量应 $< 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ (Si/SiO₂界面)。

5.1.2.4 表面粗糙度 (RMS)

原子力显微镜 (AFM) 扫描区域内的均方根粗糙度应 $< 0.3 \text{ nm}$ ($1 \times 1 \mu\text{m}^2$ 扫描)。

5.1.2.5 应力变化量

刻蚀前后材料应力状态的差异 (压应力/张应力) ΔStress 应 $< 100 \text{ MPa}$ 。

5.1.3 检测方法

5.1.3.1 非晶层厚度

采用高分辨TEM (HR-TEM) 截面分析, 电子能量损失谱 (EELS) 进行检测。

5.1.3.2 位移损伤密度

采用正电子湮灭谱 (PAS), 深能级瞬态谱 (DLTS) 进行检测。

5.1.3.3 界面态密度 (Dit)

采用准静态C-V测试, 电荷泵技术进行检测。

5.1.3.4 表面粗糙度 (RMS)

采用非接触模式AFM, 白光干涉仪进行检测。

5.1.3.5 应力变化量

采用拉曼光谱 (Raman Shift), X射线衍射 (XRD) 进行检测。

5.1.3.6 超低损伤控制

5.1.3.6.1 亚稳态激发

亚稳态激发, 过滤更多高能离子 ($> 99.9\%$), 实现更低损伤。

5.1.3.6.2 能量调控

脉冲技术 (Duty Cycle不同范围选择), 有效降低RF功率, 调控反应程度。

5.1.3.6.3 入射角度优化

使用多向离子注入系统 (如ICP中加装聚焦电极和过滤系统) 减少垂直轰击导致的沟道效应。

5.1.3.6.4 原位修复

使用等离子体修复悬挂键, 降低Dit。

5.2 化学污染损伤

5.2.1 损伤类型与微观机制

损伤类型与微观机制见表2。

表2 损伤类型与微观机制

损伤类型	化学来源	微观作用机制	典型形貌/成分特征
卤素残留（F/Cl）	CF ₄ /Cl ₂ 等刻蚀气体	F/Cl原子与表面Si形成SiF _x /SiCl _x 钝化层阻碍后续ALD/外延生长	XPS检测到Si-F键（688eV）峰强度>5%
金属污染	腔体/电极材料溅射（Fe、Cu、Al）	金属离子在介电层中形成深能级陷阱导致栅氧早期击穿	TXRF测得Fe>1×10 ¹⁰ atoms/cm ²
碳聚合物沉积	C ₄ F ₈ /CHF ₃ 等含碳气体	不饱和碳氢化合物在表面聚合增加接触电阻	SEM可见纳米级岛状凸起（直径50–200nm）
氧化层退化	O ₂ /H ₂ O残留或大气暴露	等离子体诱导SiO ₂ 过氧化（Si ⁴⁺ →Si ³⁺ ）界面态密度升高	ELLS显示氧K边能量偏移>1eV
选择性刻蚀失衡	气体配比失调（如HBr/O ₂ /He）	侧壁钝化膜（SiBr _x ）过厚/过薄导致横向钻蚀或微负载效应	CD-SEM显示关键尺寸偏差>3nm

5.2.2 技术要求

5.2.2.1 卤素面密度

覆盖率应<2%。

5.2.2.2 金属杂质浓度

Fe/Cu应< 5×10⁹ atoms/cm²。

5.2.2.3 碳聚合物厚度

应<0.3nm。

5.2.2.4 氧化态变化

Si³⁺/Si⁴⁺比值应<0.05。

5.2.2.5 选择比偏离度

实际值/目标值偏差应<10%。

5.2.3 检测方法

5.2.3.1 卤素面密度

采用XPS表面扫描。

5.2.3.2 金属杂质浓度

采用TXRF/TOF-SIMS三联动方法进行检测。

5.2.3.3 碳聚合物厚度

采用椭偏仪+O₂等离子体灰化对比方法进行检测。

5.2.3.4 氧化态变化

采用EELS能谱分析进行检测。

5.2.3.5 选择比偏离度

采用CD-SEM+刻蚀速率监控方法。

5.2.4 超低损伤控制

5.2.4.1 气体化学优化

5.2.4.1.1 低聚物抑制

添加5-10% O₂至C₄F₈，促进碳完全氧化为CO/CO₂。

5.2.4.1.2 卤素钝化阻断

采用HBr/He混合气体替代纯Cl₂，减少SiCl_x残留。

5.2.4.2 腔体洁净技术

5.2.4.2.1 原位等离子清洗

每5个批次通入NF₃/O₂混合气，进行腔壁沉积物清除。

5.2.4.2.2 陶瓷涂层电极

采用Al₂O₃/Y₂O₃涂层减少金属污染，Fe释放量降低90%。

5.2.4.3 后处理工艺

5.2.4.3.1 远程 H₂等离子修复

300℃下处理2分钟，还原表面Si-F键为Si-H键。

5.2.4.3.2 超临界 CO₂清洗

去除纳米级聚合物，穿透深宽比>20:1的结构。

5.3 选择比不足

5.3.1 损伤类型与物理机制

损伤类型与物理机制见表3。

表3 损伤类型与物理机制

损伤类型	发生条件	物理机制	典型形貌特征
掩模侵蚀	掩模/目标材料选择比 < 10:1	掩模（如光刻胶、SiN）过早消耗，失去图形保护作用	SEM显示掩模边缘回缩>5nm
下层穿孔	目标/停止层选择比 < 50:1	刻蚀穿透目标层后攻击下层关键结构（如SiO ₂ 绝缘层、Si衬底）	TEM可见界面过渡区扩散>2nm

损伤类型	发生条件	物理机制	典型形貌特征
侧向钻蚀	侧壁/纵向选择比 < 1:5	横向化学反应速率过高，导致特征尺寸（CD）扩大	CD-SEM检测关键尺寸偏差>3nm
微负载效应	密集/稀疏区选择比差异>20%	局部反应物浓度梯度导致刻蚀速率空间不均	晶圆Mapping显示区域厚度差>5%
残留物桥接	聚合物/目标材料选择比失衡	副产物沉积速率与刻蚀速率不匹配，形成纳米线状残留	AFM检测到高度>10nm的桥接结构

5.3.2 技术要求

5.3.2.1 绝对选择比

SiO₂/SiN应 >100:1，Si/SiGe应 >200:1。

5.3.2.2 局部选择比

应 < 15%。

5.3.2.3 深宽比依赖选择比

深宽比10:1→50:1时波动应 < 10%。

5.3.2.4 时间分辨选择比

终点附近衰减应 < 20%。

5.3.3 检测方法

5.3.3.1 绝对选择比

采用椭偏仪实时速率监测 + SEM形貌测量进行检测。

5.3.3.2 局部选择比

采用晶圆级CD进行均匀性分析和49点测量。

5.3.3.3 深宽比依赖选择比

采用剖面TEM + 3D重构。

5.3.3.4 时间分辨选择比

采用OES活性粒子强度追踪。

5.3.4 超低损伤控制

5.3.4.1 化学调控

添加O₂抑制碳聚合物（C₄F₈中O₂占比5-8%）提升SiO₂/SiN选择比至150:1。

5.3.4.2 自由基管理

使用HBr/He钝化Si侧壁，选择比Si/SiO₂>200:1。

5.3.4.3 脉冲气体

Cl₂/Ar交替脉冲，占空比1:4，实现SiGe/Si原子层选择刻蚀。

5.3.4.4 物理辅助

5.3.4.4.1 能量梯度控制

低能离子束（< 30eV）辅助增强SiN表面钝化层致密性。

5.3.4.4.2 温度调制

低温（-20℃）抑制Si横向反应，各向异性>95%。

5.4 热损伤

5.4.1 损伤类型与微观机制

损伤类型与微观机制见表4。

表4 损伤类型与微观机制

损伤类型	温度阈值	微观机制	典型形貌/性能特征
非晶化重结晶	>400℃（Si）	表面熔融-淬火形成多晶/非晶混合相	TEM显示晶粒尺寸突变（5→50nm）
热应力裂纹	ΔT>200℃/μm	热膨胀系数失配导致界面剥离	SEM可见微裂纹（长度>100nm）
掺杂剖面扩散	>600℃（持续30s）	杂质原子（如B/P）热驱动再分布	SRP检测结深偏移>10%
栅氧缺陷生成	>350℃（SiO ₂ ）	热激发氧空位形成漏电路径	TDD寿命下降>50%
低k介质孔洞坍塌	>300℃（k=2.2）	介孔结构收缩导致介电常数升高	椭偏仪测得k值增加>0.5

5.4.2 技术要求

5.4.2.1 峰值温度

应< 100℃（逻辑器件）。

5.4.2.2 温度梯度

应< 50℃/μm。

5.4.2.3 热预算

应< 10⁴℃·s。

5.4.2.4 热循环次数

应< 5次剧烈波动。ΔT>50℃/次。

5.4.3 检测方法

5.4.3.1 峰值温度

采用红外热像仪（8-14 μm 波段）进行检测。

5.4.3.2 温度梯度

采用微区拉曼光谱进行检测，空间分辨率1 μm 。

5.4.3.3 热预算

采用时间-温度积分模型进行检测。

5.4.3.4 热循环次数

采用腔体温度传感器进行记录。

5.4.4 超低损伤控制

5.4.4.1 温度主动调控

5.4.4.1.1 背面氦气冷却

压力可调（5-20Torr）氦气层，实现晶圆温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 控制。

5.4.4.1.2 脉冲等离子体

占空比 $< 30\%$ （如10ms ON/30ms OFF），降低平均热负载。

5.4.4.2 材料优化

5.4.4.2.1 耐热掩模

采用TaSiN（耐热 $> 800^\circ\text{C}$ ）替代传统光刻胶。

5.4.4.2.2 热缓冲层

沉积2nm SiN作为刻蚀停止层，热导率 $> 30 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。

5.4.4.3 工艺创新

5.4.4.3.1 低温刻蚀化学

NF_3/Ar 混合气体在 -50°C 实现Si刻蚀，速率 $> 200\text{nm/min}$ 。

5.4.4.3.2 光热协同刻蚀

紫外激光（波长193nm）局部加热辅助反应，全局温度 $< 80^\circ\text{C}$ 。

5.5 电荷积累损伤

5.5.1 损伤类型与物理机制

损伤类型与物理机制见表5。

表5 损伤类型与物理机制

损伤类型	产生条件	物理机制	典型特征
栅介质击穿	电子注入能量 > 8eV	Fowler-Nordheim隧穿导致SiO ₂ /SiON中陷阱电荷累积	TDDDB寿命下降>90%
界面态生成	表面电位波动 > 0.5V	热电子激发打断Si-H/Si-O键，形成悬挂键缺陷	Dit >1×10 ¹¹ cm ⁻² •eV ⁻¹ (C-V测试)
图形依赖损伤	密集/孤立图形等离子体鞘层差异	局部电场聚焦效应导致选择比异常	线宽粗糙度 (LWR) 增加50%
等离子体诱导损伤 (PID)	无接地路径的浮空结构	电荷无法及时泄放，导致介质层累积电压 > 击穿阈值	天线比 > 1000的结构失效
瞬态电荷注入	脉冲等离子体关闭瞬间	电子-离子分离时间差导致瞬时净电荷注入	随机电报噪声 (RTN) 幅值增加

5.5.2 技术要求

5.5.2.1 表面电位

300mm晶圆内波动应 < 0.1V。

5.5.2.2 陷阱电荷密度

应 < 5×10¹⁰ cm⁻²。

5.5.2.3 介质漏电流

@3MV/cm场强下应 < 1nA/cm²。

5.5.2.4 天线比敏感度

无失效的最大天线比应>500。

5.5.3 检测方法

5.5.3.1 表面电位

采用表面电位探针 (Kelvin Probe) 进行检测。

5.5.3.2 陷阱电荷密度

采用电荷泵技术 (CP) 进行检测。

5.5.3.3 介质漏电流

采用CAFM (导电原子力显微镜) 进行检测。

5.5.3.4 天线比敏感度

采用专用测试结构 (天线比1-1000) 进行检测。

5.5.3.5 器件设计

5.5.3.5.1 分布式天线结构

将大面积多晶硅分割为 < 10 μ m² 单元，天线比降至200以下。

5.5.3.5.2 电荷泄放通路

集成Si二极管泄放路径，漏电流<1pA@5V。

5.5.3.6 工艺优化

5.5.3.6.1 原位电子注入

刻蚀后注入低能电子（5eV）中和正电荷。

5.5.3.6.2 H₂等离子体修复

300℃下处理2分钟，钝化Si/SiO₂界面悬挂键。

6 表面处理超低损伤

6.1 损伤类型与物理/化学机制

损伤类型与物理/化学机制见表6。

表6 损伤类型与物理/化学机制

损伤类型	损伤尺度	物理/化学机制	典型特征
原子空位链损伤	0.3-1nm深	高能粒子撞击导致表面原子链断裂，形成线性空位缺陷	TEM可见{111}面原子列缺失
亚表面非晶化	1-5nm深	处理能量超过晶格结合能（如Si-Si键4.6eV），引发局部熔融-淬火	Raman光谱D峰（无序态）强度增加20%
化学吸附污染	单分子层	处理气体解离产物（如F、OH）与表面原子强键合	XPS检测到Si-F键（688eV）信号 > 5%
纳米级应力场	10-100nm影响范围	表面处理诱导晶格常数变化 (Δa/a > 0.1%)	纳米束衍射（NBD）测得应变梯度 > 0.5%/nm
量子态扰动	电子云层面	表面处理改变边界电子分布，导致能带弯曲（>100meV）	角分辨光电子能谱（ARPES）观测费米能级偏移

6.2 技术要求

6.2.1 非晶层厚度

应 < 0.2nm。

6.2.2 界面态密度 (D_{it})

应 < 5×10⁹ cm⁻²eV⁻¹。

6.2.3 表面粗糙度 (RMS)

应 $< 0.15\text{nm}$ 。

6.2.4 金属污染

Fe/Ni 应 $< 5 \times 10^8 \text{ atoms/cm}^2$

6.2.5 应力变化量

ΔG 峰偏移应 $< 0.2\text{cm}^{-1}$ 。

6.3 检测方法

6.3.1 非晶层厚度

采用 HR-TEM 截面分析方法进行检测。

6.3.2 界面态密度 (Dit)

采用准静态 C-V 测试。

6.3.3 表面粗糙度 (RMS)

采用真空 AFM ($1 \times 1 \mu\text{m}^2$) 进行扫描，

6.3.4 金属污染

采用 VPD-TXRF 进行检测。

6.3.5 应力变化量

采用微区拉曼映射 ($0.5 \mu\text{m}$ 步进) 进行检测。

6.3.6 化学钝化技术

6.3.6.1 原位氢终止

远程 H_2 等离子体 (300°C) 将 Si 表面转化为 Si-H 键 (接触角 $> 80^\circ$)。

6.3.6.2 单分子层保护

十八烷基三氯硅烷 (OTS) 自组装膜, 缺陷密度 $< 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 。

6.3.7 物理屏蔽方法

6.3.7.1 量子点掩模

2nm CdSe 量子点阵列作为牺牲层, 处理后可酸洗去除。

6.3.7.2 石墨烯缓冲层

单层石墨烯转移至处理表面, 导热系数 $> 5000 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。