

| 序号 | 模块名称        | 核心功能单元          | 关键技术规格                                                                      |
|----|-------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 固体粉末自动化称量模块 | 高精度称量单元         | ■称量范围：10 mg - 100 g                                                         |
| 2  |             |                 | ■称量精度：10-100mg：±0.1 mg；>100mg：0.1%                                          |
| 3  |             |                 | ■单次称量周期：≤60 s                                                               |
| 4  |             | 闭环称量控制单元        | ■实时质量反馈、分阶段/变速根据实时重量自动化调节出料量                                                |
| 5  |             | 人机协同工位          | ■预留人工操作工位，支持部分原料手动称量                                                        |
| 6  | 多通道液体加料模块   | 高通量自主移液单元       | ■移液通道数：≥2 通道                                                                |
| 7  |             |                 | ■移液范围：1 - 1000 μL                                                           |
| 8  |             |                 | ■滴液位置调节精度≤±0.5 mm，满足旋涂过程中的中心滴加、偏心滴加及工艺指定位置滴加需求，具备滴液高度、滴液位置、滴液时序和滴液速度的软件编程功能 |
| 9  |             |                 | ■移液精度：100 μL 时 CV≤2%                                                        |
| 10 |             | 溶液振荡单元          | ■振荡温度：室温 - 99℃；                                                             |
| 11 |             |                 | ■振荡频率范围：200~2000 rpm                                                        |
| 12 |             |                 | ■振荡振幅：≤3 mm                                                                 |
| 13 |             |                 | ■温度精度：±1.5% °C                                                              |
| 14 |             |                 | ■温度均匀性：±1.5% °C                                                             |
| 15 |             |                 | ★采用模块化标准化设计，与高精度定角旋涂单元采用统一的标准尺寸基准进行设计，实现单元化组合布局，软件也需支持模块化独立控制               |
| 16 |             | 高精度定角旋涂单元（自动集成） | ★旋涂台套：2 台套，至少 1 台支持自动集成或独立控制                                                |
| 17 |             |                 | ■旋涂转速：200~6000 rpm；                                                         |
| 18 |             |                 | ■旋涂加速度：0~≥4000 rpm/s                                                        |
| 19 |             |                 | ■真空系统：配套真空泵                                                                 |
| 20 |             |                 | ■旋涂氛围/溶剂处理：自动开盖、溶剂快速吸附或等效方案                                                 |

| 序号 | 模块名称 | 核心功能单元        | 关键技术规格                                                                                |
|----|------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 |      |               | ■薄膜通量 $\geq 500$ 片/天                                                                  |
| 22 |      |               | ▲具备旋涂过程数据记录功能，记录内容包括但不限于样品 ID、配方编号、转速、加速度、旋涂时间、滴液时间、滴液量、滴液位置等                         |
| 23 |      |               | ▲旋涂腔体配置废液主动收集及负压排液结构，可在旋涂过程中收集并导出多余前驱液、反溶剂及清洗液                                        |
| 24 |      | 高温退火单元        | ■退火温度：室温 - 250℃；                                                                      |
| 25 |      |               | ■退火温控精度： $\leq \pm 1.5^{\circ}\text{C}$                                               |
| 26 |      |               | ■退火面积： $\geq 100 \times 100 \text{ mm}^2$                                             |
| 27 |      |               | # 具备退火自平衡功能，完成旋涂并转入退火工序时，系统后台 SQL 数据库自动记录样品 ID、热台工位编号、退火工艺配方、退火开始时间、剩余退火时长及工位占用状态     |
| 28 |      |               | ▲自旋涂结束至将样品搬送至退火台的时间 $\leq 3 \text{ s}$ ，防止湿膜因暴露时间过长而干裂或结晶异常                           |
| 29 |      | 原位光谱表征模块      | # 支持退火过程中原位 PL 光谱采集                                                                   |
| 30 |      | 转运机器人单元       | ■机械臂：定位精度偏差 $\leq \pm 0.1 \text{ mm}$ ，机械臂承重 $\geq 0.5 \text{ kg}$ ，机械臂线速度为 0-300mm/s |
| 31 |      |               | ■机械抓手性能：力度 15-50N 可调，最大负载 $\geq 1 \text{ kg}$ ，机械抓手掉片率 $\leq 1\%$                     |
| 32 |      |               | # 采用机械臂结构，配置位置记忆装置，断电后无需重新回零即可恢复断电前位置，供电恢复后可继续执行原任务或安全回位                              |
| 33 |      | 液体加料工作站自主控制系统 | ▲可视化流程引擎：拖拽式构建工艺/配方，支持自然语言指令下发                                                        |
| 34 |      |               | # 数字孪生系统：实时映射设备状态；碰撞风险毫秒级报警，支持语言模型接口与孪生模拟实验                                           |
| 35 |      |               | ▲支持 CSV、Excel 或 JSON 格式的数据导出。支持历史数据查询，配方记录、移液记录、清洗记录、报警记录保存时间 $\geq 3$ 个月。            |

| 序号 | 模块名称 | 核心功能单元    | 关键技术规格                           |
|----|------|-----------|----------------------------------|
| 36 | 基底处理 | 气吹模块      | ■清除基片表面浮尘，无需流量控制                 |
| 37 | 闪蒸   | 双通道真空闪蒸模块 | ★VCD 台套数: 2 台套，至少 1 台支持自动集成或独立控制 |
| 38 |      |           | ■闪蒸温度范围 10 - 60℃                 |
| 39 |      |           | ■常压→10 Pa≤10 s                   |
| 40 |      |           | ■破真空≤3 s                         |
| 41 |      |           | # 闪蒸上盖板玻璃窗口可视，支持后续拓展             |