

六吋晶圆厂房空调系统设计要点

李 祯

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214000

【摘要】：本文通过对某六吋晶圆厂房实际设计案例进行解读，分析该类项目工艺特性、结构形式、厂务系统等，重点阐述了来空调系统设计方案，并给出了该类项目空调系统设计要点。

【关键词】：六吋硅基晶圆厂房;空调系统设计

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.089

1 引言

当前，全球半导体产业正形成“12吋（先进制程）+8吋（成熟制程）+6吋（特色工艺）”的多元格局，6吋重点布局在对制程要求不高的器件（如高压功率半导体、硅基 MEMS）、小批量定制化生产（如成本敏感型产品）和化合物半导体 GaN/SiC 领域。新建 12吋晶圆厂投资巨大，除行业头部企业，其他难以承受如此体量的投资；8吋晶圆厂，受制于二手设备短缺，在国内新建厂房将逐步减少，故在很长一段时间内，工艺成熟稳定、投资体量相对较小的 6吋产线将继续存在，其空调系统的设计，仍然是暖通行业继续深入研究和探讨的重点课题。

2 项目简介

本项目主要为新能源车规级功率器件晶圆制造，为 6吋硅基晶圆，其规划产能为 72 万片/年，主要建筑有晶圆制造 FAB 主厂房、封测厂房、配套建筑有综合动力站、研发办公楼、倒班楼、废水处理站、固废库、大宗气站、甲类库等，总建筑面积约 77000 平方米，其中 FAB 厂房共 2 层，建筑面积为 20000 平方米。

3 项目特性

3.1 工艺制程

本项目所涉及芯片制程，主要包括光刻工艺、刻蚀工艺、离子注入工艺、化学气相沉积工艺(CVD)、物理气相沉积工艺(PVD)、减薄工艺等，具体见下图。

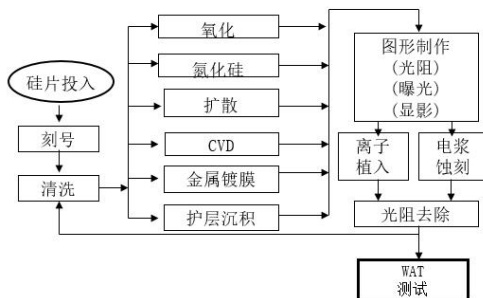


图 1 芯片制造工艺流程简图

3.2 工艺特性

FAB 厂房内部制程工艺布置，为 6 吋典型港湾式布置，具体如下图：

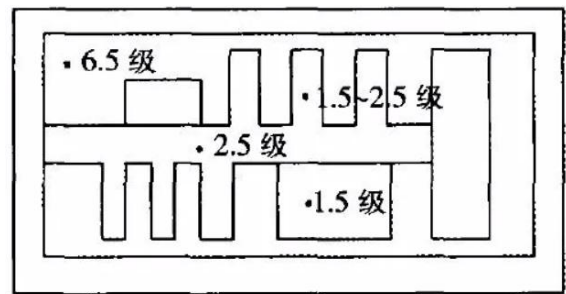


图 2 港湾式洁净室

与 8 吋/12 吋制程工艺相比，其具有如下典型特征：（1）整体洁净室分隔较多，形成白区与灰区分离管控，无法形成 8 吋/12 吋大空间洁净室；（2）附属机台较小；（3）前区和灰区分离管控，节省洁净度控制成本；（4）因 8 吋/12 吋物料传输采用的自动化传输（AMHS）成本较高，6 吋物料传输基本靠人力运输。

3.3 建筑形式

结合 6 吋产线工艺特性及建设成本考虑，FAB 厂房主体 1 层，主要功能为工艺生产区，局部 2 层，主要功能为辅助动力站房，化学品供应间、废水提升间、配电房等。主体一层部分下挖 1.5m 做下技术夹层，设置高架地板后至±0.00 地面层。MAU 机房设置于厂房屋顶，通过位于机房内的管井接风管至厂房，具体剖面如下：

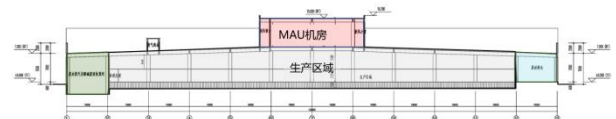


图 3 FAB 厂房结构形式

4 空调系统设计

4.1 温湿度要求

本项目属于高洁净级别半导体厂房，温湿度精度要求同样比较严格，整体分为两类，第一类为白区（操作区）及黄光区，属于晶圆直接暴露的环境，洁净度要求为ISO5级（百级），温度要求为 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度要求为 $50\pm 5\%$ ，正压控制为 20Pa ；第二类为灰区、清洗、蚀刻、成品库房、洁净走廊等，洁净度要求为ISO6级（千级），温度要求为 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度要求为 $50\pm 5\%$ ，正压控制为 15Pa 。

4.2 空调系统的选择

本项目气流组织为垂直单向流，采用温湿度独立控制的空调系统MAU（新风机组）+DCC（干盘管）+FFU（自带风机过滤单元），由位于屋面空调机房内的MAU机组对室外空气进行降温除湿/升温加湿及过滤，安装与吊顶内回风夹道处的DCC进行室内循环空气的降温，安装于吊顶的FFU进行空气的最终高效过滤。具体原理如下图

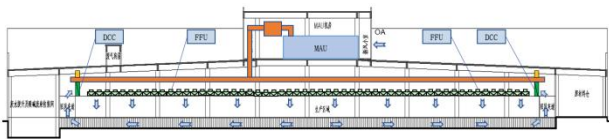


图4 暖通系统简图

4.3 空调分区划分

空调分区的划分，除了从暖通角度去考虑更好的控制房间温湿度、正压等，还要考虑工艺本身的特殊性，如洁净度、生产过程是否散发有害气体或粉尘至空间、相对正负压的要求等等，结合本项目，通常6吋硅基厂房，如下区域要进行单独空调分区的设置：

(1) 黄光区，其洁净度要求较高，为百级，且整个生产区域照明要求为黄光，为了保证其洁净度，以及防止白光污染，该区域需要单独划分为空调分区，并与其他区域进行物理分隔，防止白光的污染，物理分隔从下技术夹层、生产层及上技术夹层均应该进行，且为下技术夹层及上技术夹层检修照明，亦要求为黄色，已放置潜在的光污染对良品率的影响。

(2) 湿法清洗&蚀刻区域，在生产过程中，会有部分有害气体散发到空气中，为防止该部分气体蔓延至整个生产车间，需要对该区域单独划分空调分区，并与其他区域进行物理分隔。

(3) 减薄区，晶圆在进行封装前，需要进行减薄工艺，通常从 275nm 减薄至 50nm ，常用的有化学减

薄和机械减薄方式，在采用机械减薄方式时，在砂轮与硅片的研磨过程中，会产生大量的粉尘，虽然这一过程在密封的机台内进行，且有纯水进行喷洒降温，但还是会产生一定程度的污染，为减少该房间的污染扩散至其他洁净区，通常会减薄区划分为单独的空调分区，设独立回风夹道。

(4) 库房，如来料检验、成品库房等，其温湿度、洁净度控制通常没有生产区严格，且设置位置一般位于核心生产区以外的辅房，从洁净度、温湿度管控及实际运行角度，都划分为单独的空调分区，设独立回风夹道。

(5) 操作区、灰区，位于核心生产区域的百级操作区、千级灰区，虽在洁净度方面有差距，但在温湿度控制方面保持一致，通常将该部分房间统一划分一个整体的空调分区，共用上下技术夹层、主回风夹道及干盘管，在回风夹道、干盘管面积、新风量计算时，都可以按总量计算，但在具体到各房间FFU的布置方面，因洁净度、散热量不同等因素，要单独计算各房间的FFU布置率确定FFU布置数量，同时，对高架地板开孔率的计算，也需要按单个房间进行。

4.4 回风夹道的设置

本项目生产厂房东西两侧为辅助功能站房区域，沿着两侧辅助站房区域设置两条主回风夹道，进行空调回风，结合空调分区的划分，回风夹道可以是几个功能区公用，也可以是特殊区域单独使用，如黄光区等，对主回风夹道面积不满足回风需求的区域，可在该区域再增加回风夹道，以满足回风需求及干盘管的布置。通常，回风夹道需要控制在面风速 $\leq 2.5\text{m/s}$ 。

4.5 高架地板的布置

由FFU送入室内的循环空气，最终通过高架地板进入下技术夹层，再进入回风夹道，故通过高架地板的循环风量，可以默认最大值等于FFU送入室内的循环风量（可以忽略直接从房间排除的废气量），故在计算高级地板总的开孔面积时，可以按FFU送入室内的循环风量进行布置，通常经过高架地板的风速控制在 2.5m/s 以内即可，同时需要充分考虑高架地板的布置均匀程度，以及机台摆放对回风的影响等因素，合理选择满足开孔率的高架地板。

4.6 分期规划

在进行暖通设备选择时，需要明确工艺机台是否会分期投入，当前的晶圆厂，因为初投资较大以及市场端的多变，通常会将整个厂房分阶段进行投入使用，在暖通系统设计时，需要充分考虑分期规划，对空调

设备（含动力设备、废气设备等）的选择，既要满足当下运行，保证其处于高效工作区间，又要兼顾后期扩容的需要，同时主管道（集风管、水管）等可按全期进行考虑。

另外，以往部分项目，需要全年制冷的洁净室，只考虑 DCC 降温，会出现工艺机台迟迟不能到货安装，或到货数量很少，严重偏离理论设计工况的情况，但此时又需要进行洁净室环境验收，负荷计算中理论的散热源未能出现，导致在冬天验收时，室内温度远低于正常值，无法对洁净室进行验收，对于该类经常困扰建设单位、施工单位的通病，建议在设计阶段就工艺机台到货情况进行明确，或者在设计方案上考虑到该类极端情况的处理措施，如加大新风量及新风送风温度或者预留热水管道在洁净室，后期加装 RCU 进行内循环制热等。

4.7 空调负荷的计算

空调冷热负荷的计算方法为暖通设计的理论基础，在此不再赘述，需要特别关注如下几点：

（1）工艺机台的同时使用系数，关系到整体冷热负荷、废气量、新风量的计算，不同的制程工艺，其

取值不同，0.6~0.8 均有可能，该数据一定需要业主结合项目工艺及运行习惯方能确定，合理的同时使用系数，能确保暖通配置不会过度冗余或者不足。

（2）工艺设备用电功率，业主提供的工艺设备功率，需要明确其为最大值还是平均值，通常，空调系统计算时，按平均值进行负荷计算，如按最大值进行发热量计算，会造成暖通动力设备的极度冗余，造成投资成本浪费。

5 结论

六吋晶圆厂房空调系统的设计，是一个系统性工程，需要在掌握芯片厂房暖通设计知识的基础上，充分考虑项目本身的工艺需求、建设投资及后期运行维护等因素，尤其是项目是否分期投入、工艺机台同时使用系数、工艺机台耗电量（平均值与最大值）、工艺废气排放量（平均值与最大值）等会直接影响到暖通空调系统容量的设计，也是影响建设成本的关键因素，同时还应该借助现行成熟的仿真软件，对设计方案进行气流模拟及温湿度模拟，在设计阶段，进行调整，优化回风夹道、高架地板及 FFU 布置率等，确保将后期现场的变更消灭在设计阶段，减少试错成本。

参考文献：

- [1] 陈霖新.洁净厂房的设计与施工(第二版).2022年.P181~P199
- [2] 秦学礼.8吋、12吋集成电路厂房洁净室设计探讨.洁净与空调技术.2000年第2期.P23~P25
- [3] 张莹,刘章波.电子洁净厂房洁净空调自控设计.建筑技术科学,2024-08.
- [4] 阮文超.厂房洁净空调系统设计分析.,2023-05.
- [5] 朱光辉.半导体洁净厂房暖通空调系统安装技术要点分析.建筑技术科学,2025-04.