**第九届集创赛杯赛题目——北方华创杯**

**北方华创杯**

**一、杯赛题目：基于JIT精益生产的半导体设备调度系统**

**二、参赛组别：A组、B组**

**三、赛题背景**

**1.半导体设备调度**

半导体设备作为半导体芯片加工厂的微小单元，承担了芯片制造过程中的多个重要环节。半导体设备产能的高低直接影响芯片加工厂的效益，而高效稳定的调度系统是保证最优产能的前提。由于设备内的加工存在诸多步骤和约束，从而导致了设备调度系统的设计十分复杂，与此同时，由于设备内对晶圆的调度要求实时进行，因此对系统的计算速度有着较高要求。

**2.Just in Time**

"Just In Time"（JIT）是一种革命性的生产管理理念，最初由丰田汽车公司在20世纪50年代提出并实践，旨在通过精确匹配生产与客户需求，实现零库存和消除浪费，从而提高生产效率和降低成本。JIT的核心是拉动式生产，即根据实际需求启动生产流程，而非基于预测或批量生产。这种方法显著减少了库存积压、等待时间和过度生产等问题，使得资源得到最优化利用。JIT不仅对丰田自身的生产效率产生了巨大影响，也对全球制造业产生了深远的影响，成为精益生产和供应链管理的重要基石。

**四、赛题描述**

**1.半导体设备说明**

半导体设备结构如图1所示，各模块详细含义如下所示：

（1）LP1、LP2、LP3（Load Port，LP）：装卸位，每个LP可以放置一个晶圆盒。一个晶圆盒有25个槽位，每个槽位可以存储一片晶圆。

（2）TM1（Transfer Module，TM）：单臂机械手，可以抓取一片晶圆，TM1负责在LP1、LP2、LP3、AL、LLA、LLB间搬运晶圆。TM1取晶圆与放晶圆的时间均为4s，TM1在不同模块间的移动时间为1s。TM1的初始位置详见附表1。

（3）AL（Aligner，AL）：校准模块，有一个槽位，可放置一片晶圆做校准操作。

（4）LLA、LLB（Load Lock，LL）：真空锁，每个LL有两个槽位（S1与S2），每个槽位可以放置一片晶圆。LLA与LLB可在大气状态与真空状态间转换，当LLA或LLB状态转换为大气状态，位于TM1侧的晶圆才能送入LL，当LLA或LLB状态转换为真空状态，位于TM2侧的晶圆才能送入LL。LLA与LLB从大气转换为真空状态需要15s，从真空转换为大气状态需要20s，LL一旦开始状态转换必须转换为对应状态。LLA与LLB初始状态见附表1。

（5）LLC、LLD（Load Lock，LL）：LLC与LLD有一个槽位，可以放置一片晶圆，LLC与LLD不存在状态转换。

（6）TM2和TM3（Transfer Module，TM）：双臂机械手，两个手臂（R1与R2）方向呈180°且固定不变，每个手臂可以抓取一片晶圆，两手臂不能同时做取放晶圆的操作。TM2负责在LLA、LLB、LLC、LLD、PM7~10间搬运晶圆，LLA、LLB、LLC、LLD、PM7~10组成一个正八边形，TM2在相邻两个模块间移动的时间相同，TM2从某一模块出发绕行一周的时间为4s。TM3负责在LLC、LLD、PM1~6间搬运晶圆，LLC、LLD、PM1~6组成一个正八边形，TM3在相邻两个模块间移动的时间相同，TM3从某一模块出发绕行一周的时间为4s。TM2和TM3取晶圆与放晶圆的时间均为4s。此外，TM2和TM3的一个手臂指向某个模块时，另一个手臂指向对侧另一个模块，对应关系详见附表2。TM2与TM3的初始位置详见附表1。

（7）PM1~10（Processing Module，PM）：加工模块，每个PM有一个槽位，可放置一片晶圆加工。

（8）LP、LL、PM模块有阀门，其中LL上下两侧均有阀门，模块开门机械手才可取放晶圆，完成取放后须关门，若取完晶圆后立刻放晶圆可直接放置，无须关门再开门，开门与关门时间均为1s。

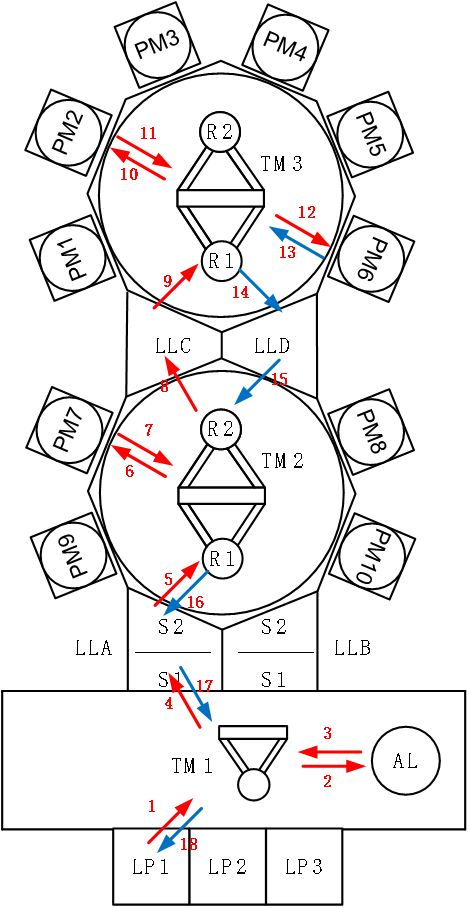


图1 半导体设备

**2.物料（晶圆）说明**

半导体设备加工的物料是晶圆片，晶圆盒用来存储晶圆，晶圆盒有25个槽位，每个槽位可以存储一片晶圆。晶圆编号与其所在晶圆盒槽位保持一致。

外部将装有晶圆的晶圆盒放在LP上，晶圆经过加工并最终全部回到晶圆盒的起始槽位，而后外部再将LP上的晶圆盒取走。晶圆盒从该LP取走后，可放置新的晶圆盒。

**3.工艺与操作说明**

（1）校准

晶圆加工前须放置在AL处做校准，校准时间为8s，晶圆完成校准后才能被取走。

（2）加工

晶圆按照其加工工艺路径依次在PM中进行加工。

（3）清洁

达到指定条件时PM进行清洁，清洁过程会持续一段时间，期间PM内无晶圆且无法进行加工。以下任意一种条件达到，须进行清洁：

1. 当PM空闲时间达到阈值时（空闲时间以晶圆取出或完成清洁为起点统计）；
2. 当PM工艺类型发生切换时（即路径编号发生切换，详见附表4、9）；
3. 当PM加工一定数量晶圆时（完成加工后，PM加工晶圆数增加1）。

触发上述任意清洁，所有判断清洁的状态重置/更新。即触发清洁时：对于a，PM空闲时间重置为0；对于b，工艺类型更新为当前工艺类型；对于c，PM加工晶圆数量重置为0。清洁条件及时间详见附表3。

（4）冷却

晶圆完成全部工艺后，需要到LL处进行冷却，晶圆完成冷却后才能被取走。

**4.调度限制说明**

出片限制：一个晶圆盒内相同路径的晶圆须按照编号顺序从小到大依次出片。

模块使用限制：晶圆只能从LLA或LLB的S2进加工区，从S1出加工区。

禁止超片：同一PM下，相同路径、同一工艺步骤的晶圆，晶圆编号须按照从小到大顺序依次进入PM，不得出现超片。

阀门互斥限制：同一区域内的PM和LL，其阀门不得同时开启。

Just in Time：物料在任意节点完成工艺或操作后的驻留时间不得超过15s（必要时间除外），并且要求物料完成当前节点工艺或操作后移动至下一节点不得超过30s（必要时间除外）。

**5.任务描述**

（1）任务一：

结合半导体设备的硬件模块、物料加工、工艺要求和调度限制，请你们团队建立数学模型，设计调度算法，求解最优调度方案，并分析算法的有效性和复杂度：

现有三个装有晶圆的晶圆盒分别放置在LP1、LP2、LP3上，其中工艺路径集合详见附表4，任务信息详见附表5，请对附表5中的任务a/b/c/d分别进行求解，给出满足约束，调度最优的调度方案，并按照指定Json格式输出调度结果，输出格式详见附表6。

（2）任务二：

半导体设备在实际加工场景更为复杂，为提升半导体设备调度系统的鲁棒性与可靠性，请设计算法自适应调优方案。（设计算法超参数或为当前算法增加自适应调优机制，根据新增场景优化算法超参数或自适应机制）

结合附表7、8、9、10提供的基础数据及参数进行测算与结果分析。

（3）备注：

* 尽可能以图表形式展示提高结果可读性。
* 参赛队伍需要标明此次提交作品所用技术方案为人工智能方案（如强化学习、深度学习等）或非人工智能方案（如数学规划、启发式算法等），并简要说明分类原因。每个作品仅可选择其中一类标明，两类方案在评选时会分类评选。

**五、附录**

**1.附表1 不同模块的初始状态或位置**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 模块类型 | 模块名称 | 初始状态或位置 |
| Load Lock | LLA | 大气状态 |
| LLB | 大气状态 |
| TM | TM1 | TM1的初始位置为LP1 |
| TM2 | R1槽位的初始位置为LLA |
| TM3 | R1槽位的初始位置为LLC |

**2.附表2 TM手臂指向对应关系**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | R1指向 | 对应R2指向 |
| TM2 | LLA | LLD |
| PM6 | PM8 |
| PM7 | PM10 |
| LLC | LLB |
| TM3 | LLC | PM4 |
| PM1 | PM5 |
| PM2 | PM6 |
| PM3 | LLD |

**3.附表3 清洁条件及时间**

|  |  |
| --- | --- |
| 清洁条件 | 清洁时间 |
| PM空闲时间达80s | 30s |
| PM工艺类型发生切换 | 200s |
| PM加工13片晶圆 | 300s |

**4.附表4 工艺路径及时间**

|  |  |
| --- | --- |
| 路径编号 | 工艺路径 |
| A | LLA-(PM7[70]-PM8[70]-LLC-LLD[70]-LLB)\*5 |
| B | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1/PM2[300]-LLD[70]-LLA/LLB |
| C | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1/PM2/PM3/PM4[600]-LLD-PM9/PM10[200]-LLA/LLB[70] |
| D | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-PM9/PM10[200]-LLD[70]-LLA/LLB |
| E | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1[600]-LLD[70]-LLA/LLB |
| F | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM2[600]-LLD[70]-LLA/LLB |
| G | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM3[600]-LLD[70]-LLA/LLB |
| H | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM4[600]-LLD[70]-LLA/LLB |
| I | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-PM9[200]-LLD[70]-LLA/LLB |
| J | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-PM10[200]-LLD[70]-LLA/LLB |
| K | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1/PM2/PM3/PM4[600]-LLD-PM9/PM10[200]-LLA/LLB[70] |

注：“（）\*n”表示括号内的节点须重复n次；“/”用于分割路径中并行节点的模块。

**5.附表5 任务信息**

附表5（a） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | A | 按晶圆盒编号依次加工，当未完成加工的晶圆都离开当前晶圆盒后，下一个晶圆盒内的晶圆才能被调度。 |
| 2 | 1-25 | A |
| 3 | 1-25 | A |

附表5（b） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | B | 按晶圆盒编号依次加工，当未完成加工的晶圆都离开当前晶圆盒后，下一个晶圆盒内的晶圆才能被调度。 |
| 2 | 1-25 | B |
| 3 | 1-25 | B |

附表5（c） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | C | 各晶圆盒及晶圆盒下的晶圆可并发出片 |
| 2 | 1-25 | D |
| 3 | 1-25 | D |

附表5（d） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-10 | E | 各晶圆盒及晶圆盒下的晶圆可并发出片 |
| 11-25 | F |
| 2 | 1-5 | G |
| 6-15 | H |
| 16-25 | I |
| 3 | 1-15 | J |
| 16-25 | K |

**6.附表6 调度结果Json格式**

|  |
| --- |
| {      "MoveList": [          {              "StartTime": 1,       # move的开始时间;float              "EndTime": 2,          # move的结束时间;float              "MoveID": 0,           # move编号，从0开始;int              "MoveType": 1,         # move类型，详见下文;int              "ModuleName": "LLB",   # 模块名称;string              "MatID": 1.1,          # 物料编号（晶圆盒编号+物料编号）;string              "SlotID": 1,            # LL、TM有两个slot，SlotID分别为  1,2，其余模块SlotID为1;int          },          {……},          {……},          {……},      ]  }  # movetype说明：  Pickmove=1           # 机械手取晶圆动作  Placemove=2          # 机械手放晶圆动作  TransMove=3          # 机械手移动动作  PrepareMove=4        # 模块开门动作  CompleteMove=5       # 模块关门动作  PumpMove=6            # LL抽气动作  VentMove=7            # LL充气动作  ProcessMove=8         # 加工或冷却工艺动作  CleanMove=9           # 清洁工艺动作  AlignMove=10          # 校准工艺动作 |

**7.附表7 机械手时间**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 机械手 | 操作 | 时间 |
| TM1 | 取晶圆 | 5s |
| 放晶圆 | 5s |
| TM2 | 取晶圆 | 5s |
| 放晶圆 | 7s |
| TM3 | 取晶圆 | 15s |
| 放晶圆 | 15s |

**8.附表8 清洁条件及时间**

|  |  |
| --- | --- |
| 清洁条件 | 清洁时间 |
| PM空闲时间达100s | 50s |
| PM工艺类型发生切换 | 150s |
| PM加工3片晶圆 | 200s |

**9.附表9 工艺路径及时间**

|  |  |
| --- | --- |
| 路径编号 | 工艺路径 |
| L | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM3[200]-LLD-PM1[200]-LLD[70]-PM10[200]-LLD[70]-LLA/LLB |
| M | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-PM9/PM10[200]-LLD[70]-LLA/LLB |
| N | LLA/LLB-PM7[70]-LLC-PM3[200]-LLD-PM8[70]-LLC-PM1[100]-LLD-PM8[70]-LLA/LLB |
| O | LLA/LLB-PM7[70]-LLC-PM4[200]-LLD-PM8[70]-LLC-PM1[100]-LLD-PM8[70]-LLA/LLB |
| P | LLA/LLB-PM7[70]-LLC-PM5[200]-LLD-PM8[70]-LLC-PM1[100]-LLD-PM8[70]-LLA/LLB |
| Q | LLA/LLB-PM7/PM8[200]-LLC-PM3[200]-LLD-PM1[200]-LLD[70]-PM10[200]-LLD[70]-LLA/LLB |
| R | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1/PM2[300]-LLD[70]-LLA/LLB |
| S | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1[300]-LLD[70]-LLA/LLB |
| T | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM2[300]-LLD[70]-LLA/LLB |
| U | LLA-(PM7[70]-PM8[70]-LLC-LLD[70]-LLB)\*3 |
| V | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM1/PM2/PM3[600]-LLD[70]-LLA/LLB |
| W | LLA/LLB-PM7/PM8[70]-LLC-PM4/PM5/PM6[600]-LLD[70]-LLA/LLB |

注：“（）\*n”表示括号内的节点须重复n次；“/”用于分割路径中并行节点的模块。

**10.附表10 任务信息**

附表10（a） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | L | 各晶圆盒及晶圆盒下的晶圆可并发出片 |
| 2 | 1-25 | M |
| 3 | 1-25 | N |

附表10（b） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | O | 各晶圆盒及晶圆盒下的晶圆可并发出片 |
| 2 | 1-25 | P |
| 3 | 1-25 | Q |

附表10（c） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | R | 各晶圆盒及晶圆盒下的晶圆可并发出片 |
| 2 | 1-25 | S |
| 3 | 1-25 | T |

附表10（d） 任务信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 晶圆盒编号 | 晶圆编号 | 工艺路径 | 任务模式 |
| 1 | 1-25 | U | 各晶圆盒及晶圆盒下的晶圆可并发出片 |
| 2 | 1-25 | V |
| 3 | 1-25 | W |

**六、技术指标**

**1.初赛阶段：**

满足评分标准中基础技术指标要求，即程序无异常、调度无死锁、满足调度限制。

**2.分赛区决赛和全国总决赛阶段：**

（1）根据评分标准中优化指标，对参赛队伍的数据结果的优劣进行排序、评分。

（2）根据评分标准中鲁棒性指标，对参赛队伍的数据结果的优劣进行排序、评分。

**七、杯赛阶段提交内容**

1.初赛阶段：

（1）调研报告

根据问题调研相关资料，形成调研报告。

（2）技术方案

结合调研、对赛题的理解及问题要求，形成解决方案并介绍关键技术。

（3）总结报告

包括但不限于问题理解、数学模型、算法设计、求解结果、算法性能分析等。

**2.分赛区决赛和全国总决赛阶段：**

（1）技术文档和结果数据

包括但不限于问题理解、数学模型、算法设计、求解结果、Json数据、算法性能分析等。

（3）提供项目源代码

包括程序运行的环境说明、完整的项目源代码，若引用第三方库或工具，须注明使用版本。

（3）汇报PPT

项目介绍、关键技术介绍、技术指标、待改进项等。

**八、评分标准**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 大项 | 内容 | 分值 | 评分要求 |
| 基础技术指标 | 程序无异常 | 10分 | 程序正常执行且求解结果与文档中一致；输出结果格式符合要求。 |
| 调度无死锁 | 10分 | 调度结果无死锁发生。 |
| 满足调度限制 | 15分 | 调度结果满足所有调度限制。其中“Just in Time”限制分值为7分，其余限制指标为2分。 |
| 优化指标 | 计算时间 | 10分 | 满足需求前提下，算法计算时间越短越优。 |
| 产能结果 | 15分 | 满足需求前提下，调度结果的完工时间越短越优。 |
| 鲁棒性指标 | 自适应调优效率 | 10分 | 综合考虑自适应调优所需的时间、步骤及方案复杂度，所需时间越短、步骤越少、复杂度越低越优。 |
| 自适应调优适用性 | 20分 | 基于任务2，在自适应调优后，基础技术指标与优化指标数据表现越好越优。 |
| 文档以及现场演讲展示 | 文档/讲解质量 | 5分 | 所有要求文档是否提交  文档是否规范清晰  现场演讲和演示是否清楚准确 |
| 创新性 | 项目在技术或创意上的创新 | 3分 | 评审主观打分 |
| 团队协作 | 团队分工合理性 | 2分 | 团队成员是否合理分工，是否都有贡献 |

**九、其他说明**

1. **参加企业命题杯赛的作品，杯赛出题企业有权在同等条件下优先购买参加本企业杯赛及单项奖获奖团队作品的知识产权。**
2. **大赛组委会和杯赛企业对参赛作品提交的材料，在大赛相关环节中有使用权和展示权。**
3. **参赛项目可以参考现有公开发表的文献和论文内容，但应当在技术论文和答辩PPT中注明来源，且不能将参考的内容作为自己作品的创新部分。**