

# 基于瓶颈制约理论优化 A 工厂产能拓展

徐秋晨

(上海华力集成电路制造有限公司)

**摘要:** 当前通信设备、消费电子、工业控制、汽车行业、军事和民用空间等各领域对芯片的需求不断增加,近年来,中国也在大力发展半导体,尤其是半导体制造端的生产能力,努力摆脱长期大规模依赖进口的现状。半导体制造企业面对上游设计端多样化的需求,如何快速扩大产能,满足客户需求是关键,本文基于瓶颈制约理论,结合工业工程研究方法对生产线建立底层数据模型,基于分析工具和方法论提出可行性方案并实验。比如,通过设备等级管理等使释放流程标准化;在 OEE 指标基础上,用设备作业时间标准化的方法精确识别设备产能;采用 PDCA 循环法不断进行瓶颈判别及设备展开优先级的调整实验,最终为其他半导体制造公司的产能提升工程提供了思路,具备一定的研究价值。

**关键词:** 半导体制造厂; 生产线产能; 约束理论

**中图分类号:** T-19

## Base on TOC improve the way of expanding production capacity of A Company

Xu Qiuchen

(Shanghai Huali Integrated Circuit Corporation)

**Abstract:** Currently, there is an increasing demand for chips in various fields such as communication equipment, consumer electronics, industrial control, automotive industry, military and civilian space. In recent years, China has also been actively developing semiconductors, especially the production capacity of semiconductor manufacturing, in an effort to break away from the long-term dependence on imports in a large scale. For semiconductor manufacturing enterprises, how to quickly expand capacity and meet customer needs in response to the diversified needs of the upstream design end is the key. This thesis, inspired by the TOC theory, and industrial engineering research methods, a bottom-up data model was established for the production line, and feasible solutions were proposed based on analysis tools and methodologies. For example, standardizing the release process through equipment grade management; using equipment operation time standardization to precisely identify equipment capacity based on the OEE index; using the PDCA cycle method to continuously experiment with bottleneck identification and adjustment of equipment priorities; This thesis provides a reference for other semiconductor manufacturers' capacity improvement projects. It has certain research value.

**Key words:** A Semiconductor Manufacturing Factory; Production Line Capacity; Theory of Constraints

## 0 引言

根据相关文献资料,针对多工艺平台共线生产、多瓶颈相互制约、高自动化程度的半导体生产线的理论研究较为有限。因此,本文研究内容为 A 公司提供一种基于以上多约束因子的产能提升管理方法。实际产能是制造业生产管理的核心问题,关系到企业的盈利以及生产目标的实现。通过对 A 公司生产线的实际分析,在成本一定的前提下,基于 TOC 理论对其产能提升工程项目进行研究,对其管理进行优化,创新出一套适配度较高的生产管理模式,快速完成实际产能,实现 A 公司工程目标,增益营收。

**作者简介:** 徐秋晨(1983),男,中级工程师,硕士,主要研究方向:半导体制造、工业工程. E-mail: xuqiuchen1983@163.com

目前, 国外 Geng N 等通过考虑需求和产能的不确定性, 提出了一种基于情景的随机规划模型, 该方法是首次采用整体设备效率来描述不确定的产能, 达到预期利润最大化的目的<sup>[1]</sup>。Mhiri 等提出有限容量规划的启发式方法, 预估半导体机器的预期负载, 并平衡工作负载与瓶颈工具能力, 进而达成生产计划目标<sup>[2]</sup>。国内, 陈科楼应用 TOC 方法寻找生产线瓶颈, 并通过建立 OEE 模型对半导体封装厂产能进行分析, 从而达到提升产能的目的<sup>[3]</sup>。许剑云以 B 公司为例, 建立晶圆制造计算模型采用约束理论对设备产能进行改善, 提升瓶颈能力<sup>[4]</sup>。综上可知, 研究方法上, 已经从主要对国外理念方法的阐述逐步引入到了企业的实际生产中, 从偏向于定性研究到引入现代分析方法, 通过大量的现场调研实践结合大量现场数据, 实现了定量分析并开始逐步使用晶圆制造产能计算模型和大规模复杂系统分解方法; 研究对象上, 从最初的研究确定生产工段、关键工序、描述设备综合效率、不合理布置以及不合理的工位等发展到从生产流通周期、识别生产资源瓶颈等复杂对象和角度。但是, 对于大型 12 英寸全自动化半导体制造生产工厂产能爬坡阶段的研究, 以及如何处理多瓶颈动态切换和如何在长期边扩产边生产的生产状态中快速提升产能等问题缺少相关研究。

基于以上, 本文试图通过对这一角度来分析研究 A 公司现状和面临的问题, 提出针对性的管理方案并实施和验证收益。本文的研究对象是 A 芯片制造厂生产线问题, 通过搜集和整理生产相关材料, 运用半导体生产相关理论、IE 研究方法、TOC 理论等来分析生产线的现状, 进而研究提高生产线产能的方向和方法。

## 1 半导体相关概念及理论基础

### 1.1 TOC 瓶颈制约理论

#### 1.1.1 理论起源

TOC 即约束理论 (Theory of Constraints, TOC), 是以色列物理学家兼企业管理顾问戈德拉特博士在其开创的优化生产技术(Optimized Production Technology, OPT)基础上衍生出的管理哲理, 该理论提出在经营生产活动中规范化定义和消除制约因素的方法, 助于连续改进(Continuous Improvement)<sup>[5]</sup>。约束理论也是 MRPII 和 JIT 在观念和方法上的延伸。其初衷为找出不同的生产条件下的规律, 统一用具有逻辑性的思维方式分析找寻可行性方案。简而言之, 即找出制约系统目标实现的约束条件, 并进行求解改善。

在 A 公司的半导体制造生产过程中, 瓶颈因素涉及产品组合、机型影响、设备负荷能力、作业标准时间、前置资料、车间需要场地等。其中, 设备产能是衡量生产线产出能力的核心, 管理过程中时刻明确瓶颈, 尤其是瓶颈设备组, 提升瓶颈产能是研究重点和核心。

#### 1.1.2 核心思想

TOC 的核心思想为在多约束环节的系统环境中都有一处或多处约束环节, 但最终呈现

是由最薄弱的环节所决定的。约束理论把主生产计划比喻成"鼓", 根据瓶颈资源和能力约束资源的极限力来确定企业的最大物流量, 作为约束全局的"鼓点", 指挥生产的节拍; 前提是保留物料储备缓冲, 以保证充分利用瓶颈资源, 实现最大有效产出。须按瓶颈工序的物流量来控制其前道工序的物料投放量。头道工序和其需要控制的工作中心如同用一根传递信息的绳子牵住

80 的队伍, 同节奏控制在制品流量, 以保持均衡物料流动下进行生产。瓶颈工序用顺排计划, 其后续工序跟从其节奏, 其前的非制约工序可用倒排计划。企业管理焦点应为瓶颈, 提升瓶颈工序利用率以提高整体产出、降低设备成本。

### 1.1.3 关键技术

85 约束理论的五大核心步骤:

- (1) 识别系统瓶颈(约束), 如有多瓶颈, 则需对其进行排序;
- (2) 寻找突破点, 提高资源利用率;
- (3) 其他资源服从&同步步骤(2)提出各项约束;
- (4) 提升瓶颈性能, 实施步骤(2)提及措施;
- 90 (5) 重返第(1)步, 持续甄别, 持续改善。

约束理论是需持续改善践行, 五大核心步骤示意图, 如图 1 所示。

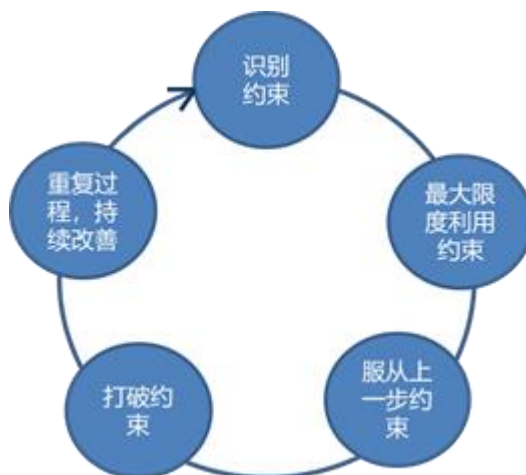


图 1 约束理论的五大核心步骤

Fig.1 The five core steps of TOC

## 2 A 工厂的瓶颈约束及问题分析

### 2.1 A 公司生产线特点

#### 2.1.1 工艺平台和产品种类

A 公司是一条 12 英寸逻辑电路制造的自动化生产线, 相较于国内其他半导体制造公司, 具有自动化程度高、加工工艺先进、种类多、产能不断扩充的特点, 存在多工艺平台, 涵盖 28nm 及以上工艺产品, 产品种类繁多, 同时包含大众产品及特色工艺的生产, 如银行卡、数码相机、手机摄像头等产品。

100

### 2.1.2 产品约束规则

在实际生产中,相较于其他某些同行业公司,对 A 公司而言,存在  $g$  个平台,每个平台对应多个产品,不同产品对工艺要求也不尽相同,即使在同一机台作业,也存在不同的作业条件, A 公司生产具有多平台、多产品、多制程、多设备的特点,且平台与产品存在一对多的特点,产品与设备、设备与制程之间的联系则更为复杂,可能存在一对多、多对一、多对多的错综复杂的特点,几大因素之间即存在共同点又具备其各自独立性,关系表征如图 2 所示。

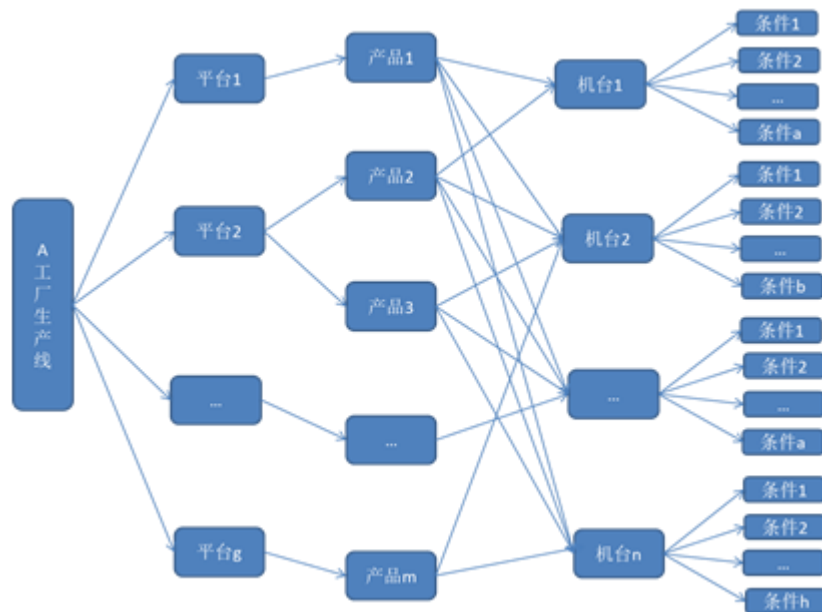


图 2 A 公司加工生产关系图

Fig.2 A company's processing and production diagram

### 2.1.3 设备产能展开规则

设备从最初的选购到搬入再到最后的投入使用有严格标准的,一般历时 5 个月,概括为三个阶段,第一阶段是机台搬入与组装,根据 layout 布局搬入机台预设位置,进行管路气体、电力的连接与测试,确认设备可用状态后,交付给工艺人员,第二步是进行机台测试,负责工艺调试的专家根据生产产品的作业条件对设备条件进行预设,并使用试验批次对机台可靠性进行测试,等待 WAT/CP 测试结果,若不合格,则对机台重新调试,若数据合格,可进行大批量试验批次进行机台验证,最后,获取大量试验产品下的 WAT/CP 数据,若不合格,则对机台重新调试,若数据合格,机台可投入量产使用。设备产能展开规则具备严格标准化、长周期性、多阶段顺位进行制、数据参数严格把控等特点。应遵循精益生产理论及 TOC 理论完善该规则与优先性,一定程度上可决定工厂生产品质与产能,实现生产价值对等于客户使用后价值,具体流程图如图 3 所示。

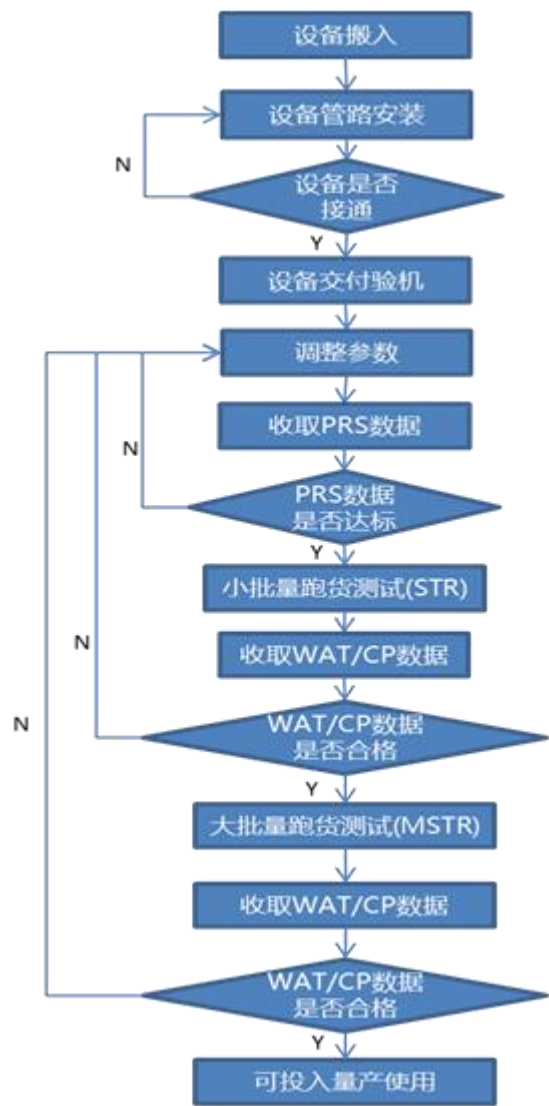


图 3 设备产能展开标准流程

Fig.3 Equipment capacity expansion standards

2.2 A 公司生产线问题

2.2.1 产能释放流程

A 公司面临产品种类繁多、产能仍在拓展提升的阶段，因此对同一机台要求展开的种类多、机展速度快，以达成快速上量的目的。

展开种类多

A 公司涵盖产品种类繁多，工艺制程繁杂，并不是单一对应关系，且设备产能展开资源有限，同时市场变化自由度极高，因此设备产能展开存在展开种类多的问题，需根据 TOC 理论排期展开。

展开速度慢

为保证产品产出品质，A 公司严格遵守前章节提及的设备产能展开规则，所以按照目前标准化流程，需至少 5 个月才能完成一个产品的机展，展开速度慢的问题便浮出水面。



2.2.2 瓶颈认定

剖析实际产出不达规划产出时，重要影响因素之一便为瓶颈机组的认定，而针对多平台、多产品、多机组且制程复杂的 A 公司，目前面临以下两大问题：

多瓶颈共存。A 公司是一个多客户多产品共线生产的半导体制造生产线，多平台同时辅以多制程集合后，从生产工艺的前到后，每个机组都有成为瓶颈的可能性，会造成单工厂同时期多瓶颈共生的问题出现，多瓶颈共生制约了工厂可接受的市场订单量及有限的产品组合方案，是制约工厂不达预期产出的因素之一。

瓶颈动态变化。投入生产初期，A 公司的产能处在不断扩充的过程中，所有机组的单位产能既定的情况下，所有机组可贡献产能的机台数便成为制约瓶颈产能的因素，因为机台产能释放具有周期性及人力、物力、财力等各方面资源有限，会导致所有机展进度需排队进行，因此不同时期会导致瓶颈因产能的提升而发生变化，其二，由于加工产品组合的多样性，更加快了瓶颈动态化调整的频率，加大了 A 公司对生产产品的管控及生产目标的达成的难度。

3 A 公司产能拓展方案优化

3.1 流程管理优化

A 公司通过查阅 Scholl A 相关对精益生产思想的总结，并根据其总结归纳的五项原则中尽善尽美的原则开设 PCCB（Process Change Control Board）会议，又称产品协调与控制委员会，通过该会议进行机台展开流程，该流程是产品协调与控制委员会对于量产变化进行的考核流程，由工艺、工程、品质管控、制造、采购等相关部门以及生产计划部的工业工程（Industrial Engineering）工程师参加，以客户为拉动价值流的驱动力，借 PCCB 来达成尽善尽美的价值提供给客户。

3.1.1 设备等级管理

A 公司目前对于机台展开分为三个等级，Class A/B/C，Class A 是针对厂商机型完全不同的机台的拓展，涉及机台的验证，对机台展开的要求最高，机展时间也最长，Class B 是针对同厂商非同型机台的拓展，机展流程较 A 简捷，Class C 是针对当前同厂商同型号机台进行展开，展开流程最为简单，机展的风险等级最低。设备等级管理如表 1，不同类型机台展开标准流程如图 4。

表 1 设备等级管理  
Tab. 1 Equipment classification management

机展类型	定义	风险类型	机展时间
Class A	不同厂商不同机型机台拓展	高	6~12 个月
Class B	同厂商不同型机台拓展	中	3-6 个月

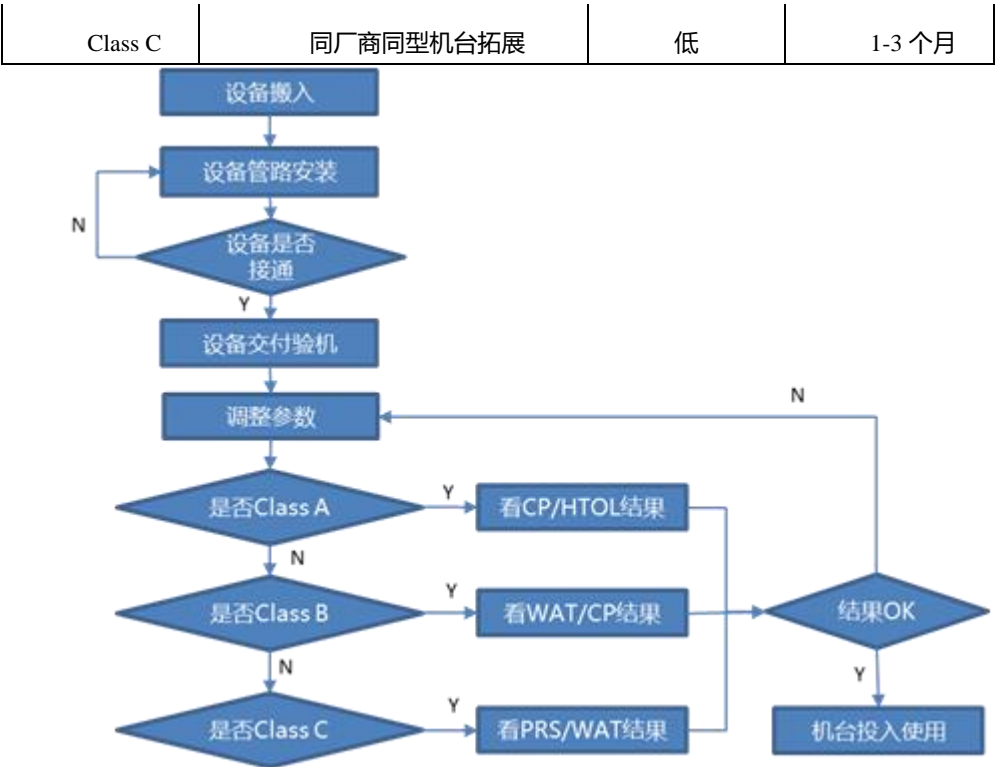


图 4 不同类型机台展开标准流程  
Fig .4 Different type of equipment capacity expansion standards

3.1.2 设备验证流程

170           A 公司处于产能爬坡阶段，对产能扩充的要求高，需快速完成机展，以保证准时出货。因此对目前已有标准流程进行优化，A 公司通过实地调研工厂内大量机台展开数据，并汇总、总结历史数据，绘制 A 公司不同类型机展数据合格率分布图如 5 所示，基于这些数据流程得到针对不同机台展开类型下最快速且最优化的展开规则，优化为看 PRS/WAT/CP，同时 tracing WAT/CP/HTOL，可以达到低风险快速化产能拓展的目的。



图 5 A 公司不同类型机展数据合格率分布图  
Fig.5 The distribution of qualified rate of A company’s Different type of equipment capacity expansion  
此套优化后的流程图如 6 所示，在允许范围内对机展的标准进行调整，将等级为 A 的

机台改为等待 CP 结果，节约近 1 个月时间，等级为 B 的机台改为等待 WAT 时间，节约近 1.5 个月时间，等级为 C 的机台改为等待 PRS 时间，节约近 0.5 个月时间，经过优化后的机展方案，大幅降低机台展开时间，使机台产能释放时间总体提前近 1 个月，且各等级下的机展数据不合格率均把控在 1.43% 以下，保证低风险高收益化机台产能拓展的顺利进行。

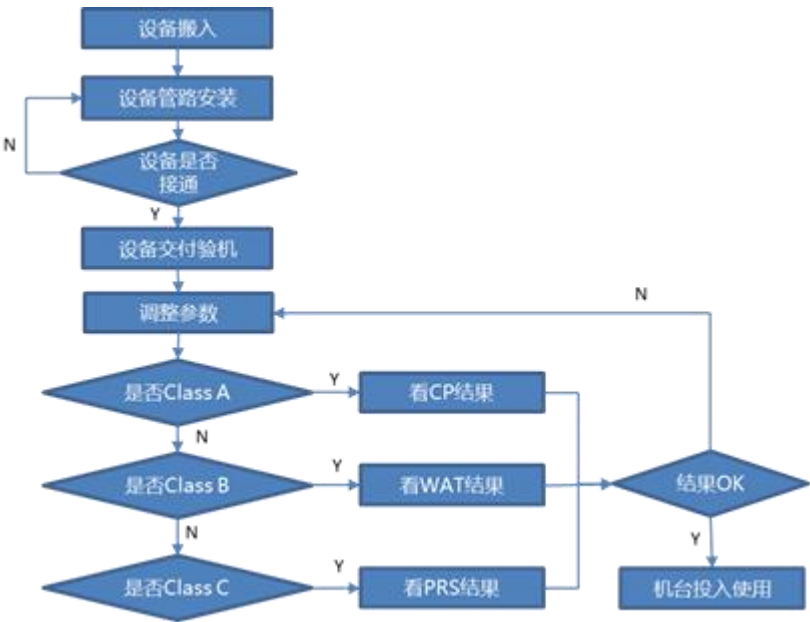


图 6 机台展开优化后流程  
Fig.6 The optimized process of equipment capacity expansion

3.1.3 缺陷管控

A 公司对缺陷的管控体现在对良率的控制上，良率指单一产品中能够实现功能的芯片数占有所有芯片数的比例，公式见（3-1）总体来说，有两大因素会影响产品良率，其一是随着集成电路持续往高密度方向发展，在一块越来越小的芯片上，整合了越来越多的组件，晶圆生产的制程也越来越长且更复杂，其加工需在极其苛刻的洁净空间，做出百万个微米量级的元器件平面结构构造和立体层侧，工序更为繁琐；其二是大部分产生的缺陷是不可修复的，且对制造而言，缺陷越往后检测出来，其成本会越高。所以，想得到良率提升就必须设法控制并降低缺陷的数量。集成电路的缺陷主要包括：晶圆上的异物，图形缺陷，化学污染，材质缺陷等，采用工业工程人机料法环法则对影响良率的来源进行分析，总结共包含 5 种，见图 7：

- 机台设备的缺陷：如零件老化与设备异常在运行中产生的缺陷等；
- 工艺方法的缺陷：如工艺最终优化之前在制程反应中所产生的副生成物等；
- 生产环境的缺陷：包含洁净室颗粒水平，温湿度，静电程度，有机物含量；
- 材料本身的缺陷：包括晶圆材料，工艺气体，工艺纯水，化学药品等；
- 操作人员的缺陷：包含无尘衣，手套；

$$\text{Yield} = \frac{\text{good die count}}{\text{Total die count}} \quad (3-1)$$



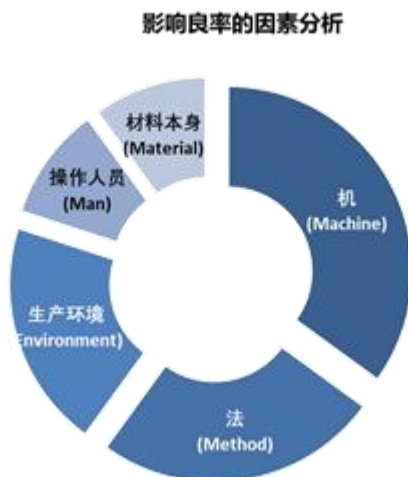


图 7 影响良率的因素

Fig.7 Factors affecting yield

为有序管理生产线，减少产能损失，目前 A 公司对缺陷管控设定流程如下：

首先对晶圆进行扫描，判断是否 OOC 或 OOS，并对缺陷进行定义，根据缺陷类型设定 YE 和 Module 作出相应，对缺陷问题进行分析判断，该流程执行后，效率有明显提升，良率提升 0.8%，对缺陷的管理流程如图 8。

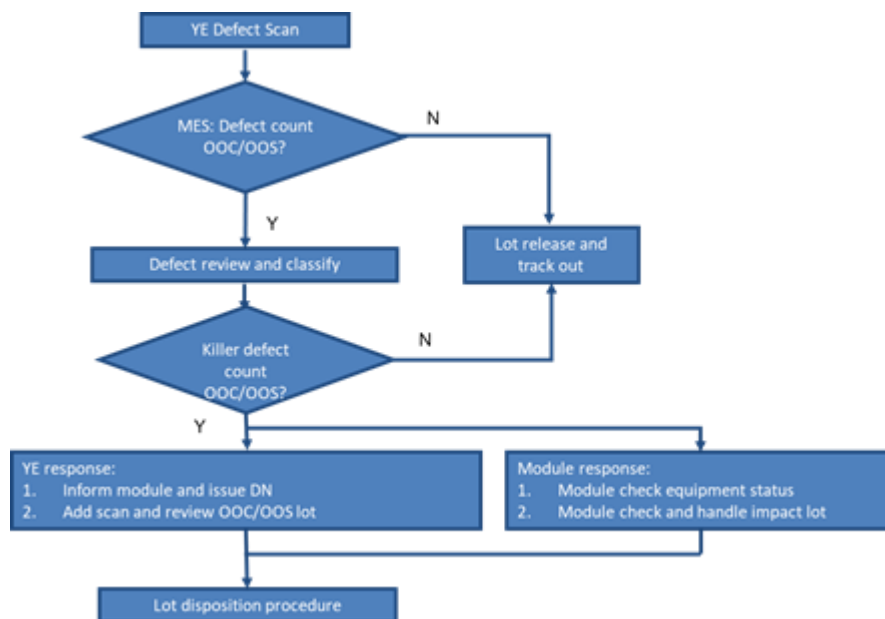


图 8 对缺陷的管理流程

Fig.8 The process of defect management

### 3.1.4 设备路宽拓展

A 公司存在多种加工产品，生产机台存在多个机型，因此机台利用率格外重要，机台利用率体现在对路宽的拓展上，路宽是指一台机台可作业产品的种类，工序等。以某膜种机台为例，存在机型 1，机型 2，机型 3 共三种机型，可作业 2 种产品，每种机型可作业产

品工序如表 2 所示。根据当前的机型状况，机型 1、2、3 的路宽比分别为 71%，57%，29%，在产品到货均匀的情况下，显然，这三种机型都存在不同程度的路宽限制风险，为此，与相关机台负责人制定路宽拓展方案，提高机台利用率，经改善，路宽比分别提升至 100%，71%，57%，如表 3 所示。

表 2 各产品机台改善前可作业工序一览表

Tab.2 The list of operational procedures before machine improvement of each product

产品及工序 可用性 机型	产品1				产品2			Ratio
	工序1	工序2	工序3	工序4	工序5	工序6	工序7	/
机型1	√	√	√	√	√	×	×	71%
机型2	√	√	×	×	×	√	√	57%
机型3	×	×	×	√	×	×	√	29%

表 3 各产品机台改善后可作业工序一览表

Tab.3 The list of operational procedures after machine improvement of each product

产品及工序 可用性 机型	产品1				产品2			Ratio
	工序1	工序2	工序3	工序4	工序5	工序6	工序7	/
机型1	√	√	√	√	√	√	√	100%
机型2	√	√	√	×	×	√	√	71%
机型3	×	×	√	√	×	√	√	57%

3.2 瓶颈识别优化

3.2.1 工艺及机型

硅片制造过程主要分为 4 个工艺过程，DIFF（扩散）、TF(薄膜)、PHOTO（光刻）、ETCH（蚀刻），其中 DIFF 又包括 FURNACE(炉管)、WET（湿刻）、IMP(离子注入)、RTP(快速热处理)，其中光刻是核心。硅片的制造，简单来说就是反复的进行光刻搭配其他制程的循环生产过程，每一个循环都是以预先制作的光刻用掩模版为模板将设计公司的设计图通过上述流程在硅片上制作成器件并相互连通，经过电性测试和缺陷检测最终成为产品。在生产中，存在不同用途的机台，如光刻机、刻蚀机、薄膜沉积机、离子注入机、清洗机、各种量测机和缺陷检测机等，这些机台各有特点，简单可分为单片式作业和组批次作业。针对不同的作业机台种类，产能提升的方案也不尽相同。

3.2.2 设备负荷能力 OEE（Overall Equipment Effectiveness）

OEE 又称设备综合效率，是一项综合反馈设备利用率的指标，公式见（3-2）

OEE = Uptime% × Utilization% × Efficiency% × Yield% （3-2）

OEE 的构成结构如图 9 所示，它确定了真正有效的计划生产时间的百分比。其计算公式反映了设备本身的系统维护、保养和作业效率状况。

Uptime%：是指设备可动用的状态下占总时间的比值，它代表的是一种设备可动用的效率，值越高提供设备给制造部可供生产制造的时间就越长。

Utilization%：是指在设备可动用的状态下，制造部拿来生产之用的比值，代表的是设

备被操作使用上的效率。该指标受到在制品或生产周期的因素影响。

Efficiency%：是指制造部在生产状态中实际使用设备上的产速与在理论最佳状态下的产速的比值，它代表的是一种速度上的效率。通常受到未连续性生产、频繁更换 recipe、lot 不满 25pcs，不满批等因素影响。公式见（3-3），即实际每小时作业片数/理论每小时作业片数。

Efficiency% =  $\frac{AWPH}{PWP\!H}$  (3-2)

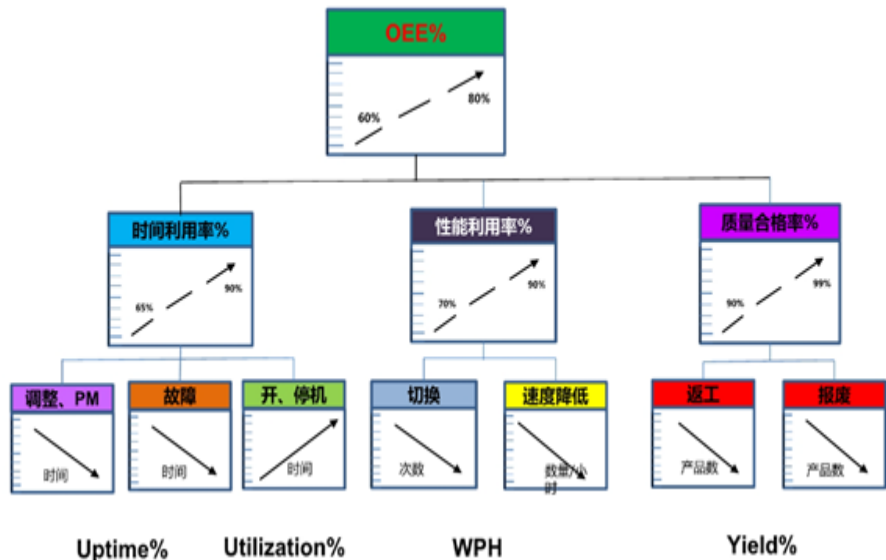


图 9 OEE 构成结构  
Fig.9 The composition of OEE

A 公司规划产能中存在瓶颈机台组 X，属于薄膜沉积设备，该作业制程存在 2 种不同的机型，各个机台的使用状态如表 4 所示，A 类和 B 类机台共需作业 13 个不同的条件，这些条件分布在 4 种产品的 15 道工序上，不同工序可属于一个作业条件，同一作业条件可对应多个产品的多种工序。由于该瓶颈机台产能紧张，故需对其产能损失情况进行分析，以获取最大产出能力。目前该机组的产能损失表如表 5 所示，由于机台特性，在进行产品作业时，需要进行腔体清洁后再进行作业，腔体清洁主要分为三种情况，其一，当这 13 种条件发生切换时，需进行一次清洁，每次耗时 30 分钟，比如，本次作业产品 1 的工序 1，下次预计要作业产品 2 的工序 4，那么需要做一次 30 分钟的清洁；其二，AB 类机台转换做一次机台监控需进行清洁，当 A 类机台空闲或 B 类机台空闲时，可进行相互转换，进行支援作业，一次机台转换需耗时 50 分钟，这种转换每天要进行 2 次；其三，当机台作业产品量每累计达到 1000 片，需进行一次清洁，作为产能瓶颈，按照产品作业情况，每天大致会进行一次清洁，若非瓶颈，则可能会两天甚至三天一次清洁。按照目前的情况，效率损失占比 26%，每日产能损失约 6.3 小时，损失相当大，因此，需着重对该部分损失进行优化分析和研究。尝试三方面着手实验：

各条件切换做一次清洁：改善前有 13 个作业条件，每次切换都需进行清洁，对产能杀伤最大，对相似条件进行合并为条件组，如表 6 所示，降低到 5 个条件组后，发现同一条

270 件组的条件切换不需进行机台清洁，大大减少了作业等待时间。

A 类 B 类机台间的切换：如图 10 所示，各个待作业批次遵循 FCFS 原则，按到货顺序进行依次作业，由于 A 类 B 类产品批次到来是具有随机性的，因此在作业时，会出现机台忙闲不均的情况，通过调整自动化排程，将两类机台供货均一性的排程等级提高，实现了每天最多切换 1 次。

275 累计达到作业 1000 片做一次清洁：根据目前的生产状态，对机台每 1000 片状态进行分析，经过实验验证，检测机台洁净度可满足继续生产，在累计 1700 片时，到达需清洁的要求，因此，累计片数的清洁可延至 1700 片，每天可节约 12min。

表 4 各机台使用状态表  
Tab.4 The usage status table of each machine

机台类型	作业条件	产品 1	产品 2	产品 3	产品 4
A 类机台	条件 1	工序 1		工序 6	工序 6
	条件 2	工序 2			
	条件 3	工序 3			
	条件 4		工序 4		
	条件 5		工序 5		
B 类机台	条件 6			工序 7	工序 7
	条件 7		工序 8		
	条件 8	工序 9			工序 9
	条件 9				
	条件 10	工序 10	工序 10	工序 10	工序 12
	条件 11	工序 11	工序 11	工序 11	工序 13
	条件 12			工序 14	
	条件 13		工序 15		

280 表 5 当前作业效率损失

Tab.5 The efficiency loss of current process

项目	每次所需时间	频度	效率损失占比
各条件切换做一次清洁	30min/次	8 次/天	17%
AB 类机台间转换做一次机台监控	50min/次	2 次/天	7%
累计达到作业 1000 片做一次清洁	30min/次	1 天/次	2%

表 6 改善后各机台使用状态表  
Tab.4 The usage status table after machine improvement of each machine

机台类型	作业条件组	作业条件	产品 1	产品 2	产品 3	产品 4
A 类机台	条件组 1	条件 1	工序 1		工序 6	工序 6
	条件组 2	条件 2	工序 2			
		条件 3	工序 3			工序 6
	条件组 3	条件 4		工序 4		
		条件 5		工序 5		
B 类机台	条件组 4	条件 6			工序 7	工序 7
		条件 7		工序 8		
		条件 8	工序 9			工序 9
		条件 9				工序 9
		条件 10	工序 10	工序 10	工序 10	工序 12
		条件 11	工序 11	工序 11	工序 11	工序 13
	条件组 5	条件 12			工序 14	
		条件 13		工序 15		

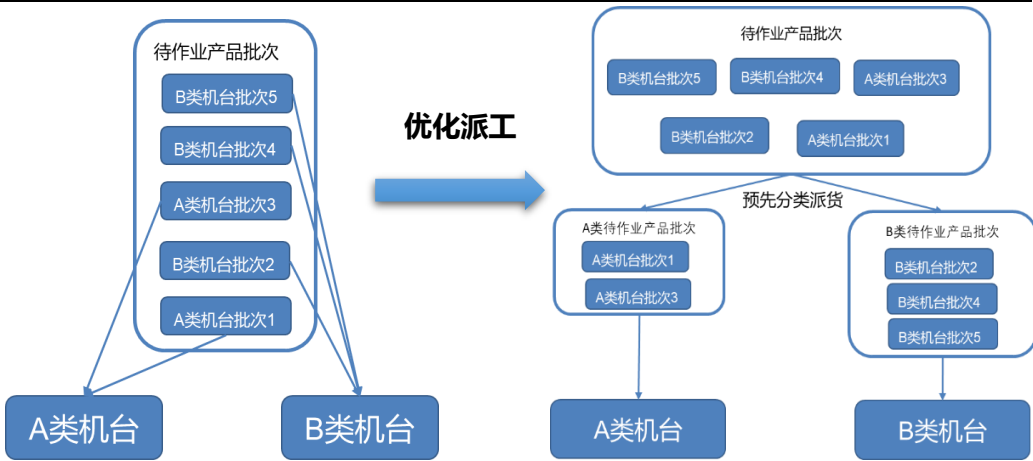


图 10 改善前后派货规则对比

Fig.10 The comparison of improved delivery rules

3.2.3 作业标准时间

在实际生产中，存在各种生产的约束限制，导致不能做到作业标准时间，而这种损失往往会导致机台利用率不足，生产线堆货，影响整体流通，甚至影响出货。以瓶颈机台 M 为例，存在 15 种作业条件，每种条件之间的作业时间从 75 到 166 不等，平均 WPH 值作业时间差异相当大，不利于产能最大化。因此，与工程部门合作对产品温度控制方法、酸液浓度配比等方面展开 DOE(Design Of Experiment)实验，通过大量机台参数调节找到最优配置组合，将 WPH 值整体提升至 95 到 207，平均 WPH 值提升近 42%，生产效率极大提升，机台利用更为充分，见表 7。



表 7 改善前后机台 WPH 变化  
Tab.7 The changes in the WPH of machine of improvement

条件序号	条件优化 前 WPH	条件优化 后 WPH	条件序号	条件优化 前 WPH	条件优化 后 WPH
条件 1	126	207	条件 9	126	207
条件 2	75	105	条件 10	115	135
条件 3	126	207	条件 11	126	209
条件 4	75	105	条件 12	145	160
条件 5	126	207	条件 13	126	209
条件 6	126	207	条件 14	166	180
条件 7	126	207	条件 15	132	209
条件 8	88	95	平均 WPH	115	163

4 研究方案实施效果评估

4.1 产能展开速度

该工厂通过产能释放管理流程的优化，即对 PCCB 调控，对设备展开等级进行区分、对验证流程进行优化跟踪、对缺陷进行规范化管控来提升产能爬坡速度，快速释放产能。同时，根据优化后的各机台展开流程和计划动态识别产能爬坡阶段的瓶颈：通过年初产品对各制程单位产能的摸排，对现有设备数量进行统计，根据当年实际产出目标计算出各制程需求量并根据 TOC 制定优先级，合理排期机台展开计划，并根据机台展开周期及计划节点，按月份全局性统算全部制程，每月根据 TOC 理论甄选出瓶颈机组，该瓶颈机组当月的产能即为当月工厂产能，可预测出 A 公司的全年产能情况为：产出能力从月产出 1K 到 20K，长期进行评估后，可利用 3 年时间完成产能提升，较改善前提前半年达成目标，见图 11。

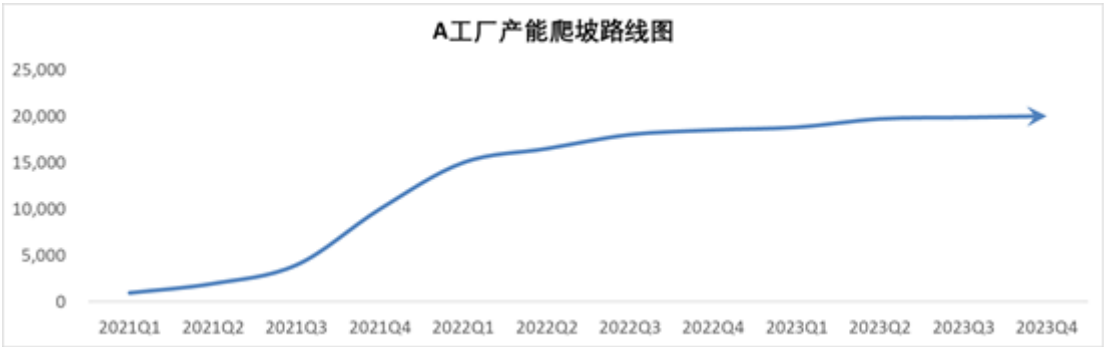


图 11 A 公司产能爬坡路线图  
Fig.11 The Roadmap of A company’s capacity

## 4.2 瓶颈机组 OEE 达成率

A 公司通过工艺、设备特性出发，从多个方面提升机组设备综合效率。例如：13 个作业条件合并至 5 个条件组以减少清洁频率、通过自动化排程优化，改善后保证两类机台供货均匀，每天最多切换 1 次、通过实地调研机台的生产情况，将机台极限累计作业片数提高至 1700Pcs，提升了 70%，每天可节约 12min。实施后，A 公司设备综合效率达成率提升 30%，见图 12。



图 12 A 公司设备 OEE 达成率改善图

Fig.12 The achievement rate of OEE of A company's machine

## 5 结论

本论文以 A 公司为研究对象，在研究 TOC 理论在 A 公司产能展开工程中的实施。首先对 A 公司的生产线进行问题分析，主要包括瓶颈设备多且产能相互制约，设备工艺验证流程长，产能释放缓慢等问题。其次，针对提出的问题，研究可行性方案。利用瓶颈理论工具和方法论提出相应的改善措施，如建立 PCCB 机制，通过大量数据验证优化设备验证流程，优化缺陷管控方式等措施。最后，验证改善后效果，通过快速释放产能，达到 A 公司规划产出目标。本文也为其他半导体制造公司的产能提升提供了思路和方法。通过研究，得出以下结论：

1) A 公司产能拓展速度受限于多平台多产品的复杂对应关系，自动化调度、设备产能展开周期长等多条件，因此，需要从产能释放规则及流程、瓶颈认定方式上进行优化改善才能达到既定目标。

2) 首先是产能释放的优化改善。将对 A 公司机台展开分为三个等级，定义标准展开流程，在允许范围内对机展的标准进行调整，平均节约近 1 个月时间，机展速率提升 17%。第二对产品的良率进行规范化、严格化，对缺陷 OOC 或 OOS 进行定义，根据缺陷类型设定 YE 和 Module 做出相应，对缺陷问题进行分析判断，该流程执行后，效率有明显提升，良率提升 0.8%。第三是路宽拓展，以膜种机台为例，对 3 种机型的机台进行路宽拓展，将路宽比分别提升至 100%，71%，57%。第三是对机台生产效率的改善。某薄膜沉积

设备按照目前的情况，效率损失占比 26%，从减少各条件切换做一次清洁、减少 A 类 B 类机台间的切换、提升累计可作业片数量再做一次清洁三个方面进行优化改善，降低效率损失。第四是作业标准时间的改善。对 M 机台进行条件优化，对产品温度进行控制，酸液浓度进行重新配比等一系列动作，平均 WPH 值提升近 42%，有效且大幅度提升 A 工厂产能，突破受限机台资源有限造成的产能停滞问题。

3) 通过以上方案的实施，最终生产线的提升预计体现在以下三个方面，第一是实际产出，该工厂产出能力从月产出 1K 到 20K，平均月增长率 40%，为 A 工厂最终顺利达成产出规划，完成生产目标夯实基础。

#### [参考文献] (References)

- [1] Geng N, Jiang Z, Chen F. Stochastic programming based capacity planning for semiconductor wafer fab with uncertain demand and capacity[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 198(3): 899-908.
- [2] Mhiri E, Jacomino M, Mangione F, et al. Finite capacity planning algorithm for semiconductor industry considering lots priority[J]. IFAC-PapersOnLine, 2015, 48(3): 1598-1603.
- [3] 陈科楼. 基于 OEE 方法的半导体封装测试产能提升研究[D]. 江西: 华东交通大学, 2011.
- [4] 许剑云. 晶圆制造中交货率提升的方法研究[D]. 上海: 复旦大学, 2013.
- [5] Schelasin R. Using static capacity modeling and queuing theory equations to predict factory cycle time performance in semiconductor manufacturing[C]. Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference(WSC), 2011: 2040-2049.
- [6] [1] Lin J T, Chen T L, Chen Y Y. Medium-term multi-plant capacity planning problems for semiconductor foundry[C]. 2010 IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2010: 779-783.