

ExtendSim 仿真在半导体生产线动态调度研究中的应用

王 玉^{1,2}, 刘 昶^{1,3}

(1.中国科学院 沈阳自动化研究所 辽宁 沈阳 110016;

2.中国科学院 研究生院 北京 100049;

3.无锡中科泛在信息技术研发中心有限公司 江苏 无锡 214135)

摘 要 根据半导体封装生产线的实际情况和特点,在现有的动态调度方法研究的基础上,针对不同类型的加工机器和生产需求等情况进行分析,对半导体封装生产线的动态调度方法进行研究,并结合离散系统仿真技术和系统仿真平台 ExtendSim 建立仿真模型,通过仿真结果得出生产线的主要生产性能参数。通过比较分析从而得出综合调度策略,改善和提高了半导体封装生产线的生产性能。应用实践表明,提出的仿真方法对于研究半导体封装生产线的调度问题是可行并且有效的。

关键词 仿真 建模 ExtendSim 半导体封装生产线 动态调度

中图分类号 :TH16 ;TP391 **文献标识码** :A **文章编号** :1001-3997(2014)01-0265-04

The Application of ExtendSim Simulation in the Study of Dynamic Dispatching Rule for Semiconductor Product Line

WANG Yu^{1,2}, LIU Chang^{1,3}

(1.Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Liaoning Shenyang 110016, China;

2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3.Wuxi CAS Ubiquitous Information Technology R&D Center Co., Ltd., Jiangsu Wuxi 214135, China)

Abstract According to the practical situation, after a solid research in the dynamic scheduling rule for semiconductor assembly manufacturing line, it analyzes the situations in case of different machines and different production needs as well as the products' queuing rule. Then sets up simulation models by the technology of discrete event simulation and the ExtendSim, getting the main performance parameters of the manufacturing line from the simulation results. Through comparative analysis it arrives at a comprehensive scheduling rule to improve and enhance the performance of manufacturing line. The results prove the validity of modeling of semiconductor manufacturing line.

Key Words Simulation; Modeling; ExtendSim; Semiconductor Assembly Product Line; Dynamic Scheduling

1 引言

作为技术密集、资金密集的高技术产业,半导体制造业已被公认为当今最复杂的制造过程之一^[1]。半导体生产线不确定性、多重入、混合加工、设备负载不均衡等明显区别于其他制造业的显著特点,通常需用到几百台设备,上百道甚至千余道加工工序,其控制与调度问题引起学术界与工业界的普遍关注^[1-3]。

生产调度是生产管理的核心内容和关键技术,其任务是在企业车间有限的资源约束下,确定工件在相关设备上的加工顺序和加工时间,以保证所选定的生产目标最优。半导体生产线的调度策略的好坏与生产线设备的利用率、产品的加工时间和生产线的效率等密切相关。对一组任务可能存在几种调度方案,如何确

定调度方案的优劣就需要计算机仿真来实现^[4]。另外,由于半导体封装生产线的产品工序繁多,对设备的高利用率和特殊的可重入的流程特点,在改变生产线的运作之前,为了降低风险和成本,对重大的改进进行模拟是很有必要的^[7,9]。通过计算机仿真,可以对生产线的设备使用率、生产效率、调度规则的影响、生产瓶颈等多个问题进行深入研究。基于以上分析,介绍使用了 EXTENDSIM 作为建模仿真实验平台,它是由国外某公司开发的可对离散和连续时间系统仿真的高灵活性、高可扩展性、高性能价格比的优秀仿真平台,由于其具有可编程性和与数据库的接口,具有高度的柔韧性和扩展性,使其在半导体和集成电路制造领域得到了广泛的应用。在建模中,根据半导体封装生产线的特点,考虑了加工工

来稿日期 2013-07-04

基金项目 国家科技重大专项(2011ZX02601-005)

作者简介 王 玉(1977-)女 辽宁抚顺人 高级工程师 在读研究生 主要研究方向 生产调度、制造过程建模与仿真等的研究;

刘 昶(1973-)女 辽宁沈阳人 副研究员 硕士生导师 主要研究方向 生产调度与优化、复杂系统建模与性能评价

件的工艺路线、设备程序加工时间、设备产能、以及工件的运输时间等问题,同时为了提高仿真的真实性,对不同的加工机器、不同的产品类型所带来的各种特殊情况分别进行处理,使仿真对半导体生产线具有实际的指导意义。

2 基于 EXTENDSIM 的半导体生产线建模

2.1 理论分析

半导体封装生产线具有高度复杂、不确定性强、可重入、返工等特点,是一种典型的离散事件动态系统(DEDs),可以使用 ExtendSim 建模仿真工具来对其进行建模和仿真。通过系统仿真的方法建立模型,综合考察多批量的半导体封装生产线的产品的调度策略以及机器设置时间控制调度策略,并根据生产线的主要性能指标来考察和分析采取不同的调度策略得出的不同的生产性能^[9]。

2.2 ExtendSim 的建模机制

2.2.1 工件的设置

在建模仿真过程中,我们对不同类型的加工任务给予待加工的工件一些相互区别的属性,主要包括如下几个属性:Lot—所属生产任务;Start—开始加工时间;End—完成加工时间;Remaining—剩余加工时间;DueDate—交货截止日期;Delay—在某道工序所需的加工时间;Priority—加工优先级;Quantity—该批次所含工件数量;Product Type—工件类型;Process Step—加工工序。

由于半导体封装生产线的加工过程中通常一个批次中所包含的工件数量巨大,达到几千个甚至上万个的规模,为了提高仿真的效率和真实性,我们在仿真过程将一定数量的工件视为一个加工任务(Lot),这样一个加工批次就可以形成 N 个加工任务,同时加工时间则为该任务中所有工件的加工时间之和。

$$Delay = N \times T_{\text{单个工件加工时间}}$$

另外,在仿真过程中,根据不同的动态调度规则以及工件的类型、加工时间、交货期等属性的差别,对不同的工件赋予不同的加工优先级,这对不同工件的加工进度和生产线的生产效率等仿真结果产生重大影响,对评判调度规则的优劣提供重要的标准。

$$Priority = \sum \{ (M_{\text{动态调度规则}}) \pm (\alpha \times Remaining) \pm (\beta \times Delay) \pm (\gamma \times ProductType) \}$$

生产设备的设置

半导体封装生产线一般有几十到几百台设备。这些设备的特点不尽相同,它们之间关系错综复杂,如果不能有效地对这些设备群进行划分,那么所建模型的性能将受到很大影响,同时对模型的分析也将显得复杂,而模型仿真结果也缺乏实际指导性。根据设备生产加工的特点主要分为以下三类,在建模过程中对它们采取不同的方法以便得到更为真实的仿真结果^[6-8]。

(1) 批处理加工设备的设置

在建模过程中,批处理加工设备的设置是在综合考虑批加工设备本身的负载情况、其下游设备的负载情况以及其上游设备的工件加工情况的基础上进行的,批加工设备的设置关键在于工件的组批规则。首先通过获取其上游设备、下游设备以及本身的等待加工的工件的队列长度,然后结合待工件的工件类型、交货

期等属性以及仿真所采用的动态调度规则,得出工件的组批规则和各批工件各自的加工优先级。

(2) 含改机情况的加工设备的设置

由于半导体封装生产线具有混合加工方式的特点,不同类型的工件可能同时进入同一台加工设备,因此非批处理加工设备又主要分为两种不同的类型:

(1) 在加工工件的类型变化时需要进行改机的设备;

(2) 不需要进行改机即可加工不同类型的工件的设备。

对于含改机情况的加工设备,在建模过程中需要增加一个工件类型和封装外形的判别机制,这个判别过程不花费时间,仅在需要改机的情况下有条件的在工件的加工时间上增加一个改机时间,以达到真实仿真的目的。

```
If (Last_productType = ProductType) || NoValue(productType)
    Delay = 0;
```

```
Else Delay = T改机时间
```

式中 $Last_productType$ —上一个进行加工的工件类型;

$productType$ —缓冲区内的工件类型。

(3) 其他辅助设置

在建模仿真过程中,为了使仿真能够具有真实性以及仿真的可操作性,除了各个加工设备以及产品的属性的设置之外,对加工过程中工件在各道工序之间的运输时间等细节也需要进行考虑。

2.2.2 性能指标的计算

ExtendSim 具有可编程性的特点,同时它提供了 Excel 和数据库的接口,可以处理大量的系统数据信息,给生产性能分析提供了便利的资料。

数据库信息读取及输出的关键代码如下所示:

```
Long a, b, c, d;
//先清空生产计划表格 Schedule
a = DBDatabaseGetIndex("Database 1");
b = DBTableGetIndex (DBDatabaseGetIndex ("Database 1"), "Schedule");
c = DBRecordsGetNum(a, b);
d = DBRecordsDelete(a, b, 1, c);
//运行仿真
RunSimulation(FALSE);
//显示生产计划调度结果
DBDatabaseOpenViewer (DBDatabaseGetIndex ("Database 1"), "Schedule");
```

2.3 仿真实例

实例利用 EXTENDSIM 仿真软件,建立一个生产流程模型。这个生产流程有七道工序,分别是:划片、划片检查、装片、预固化、装片固化、内 QC、键合。其中划片、装片、键合和这三道工序包含多台不同的机器,它们分别可以加工一种或者多种类型的工件,预固化和装片固化这两道工序的机器为批处理加工机器^[9]。整个生产线的仿真模型,如图 1 所示。生产流程,如图 2 所示。

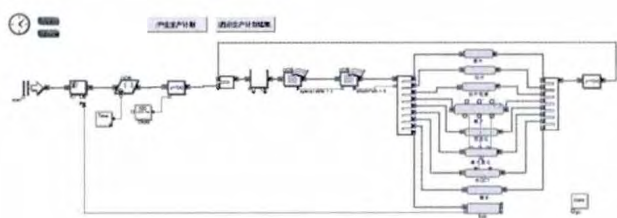


图1 仿真模型
Fig.1 Simulation Model

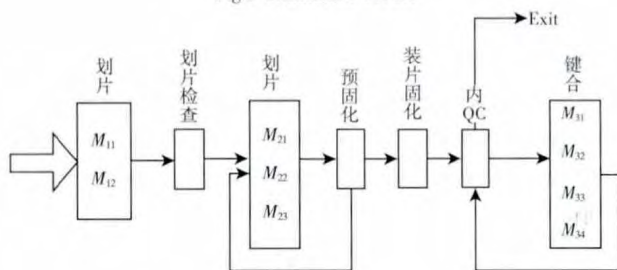


图2 生产流程
Fig.2 Production Process

在加工过程中，由于加工的产品类型或者封装外形不同，所走过的工序流程不尽相同。有些机器和步骤会被跳过，有些机器则会重复进入。具体的不同品种的加工工序，如表1所示。

为了验证调度方法的有效性，通过模型的运行对不同的调度方法进行评价，需要一个统一的标准。根据模型仿真目标，定义统计性能参数如下，便于进行仿真分析：

- (1)生产线的平均周期；
- (2)生产效率；
- (3)准时交货率；
- (4)生产线的平均在制品值；
- (5)机器利用率。

表1 加工工序
Tab.1 Processing of Operations

产品	工序
D ₁	划片 划检 装片 装片 装固 内QC 键合 内QC Exit
D ₂	划片 划检 装片 预固化 装片 装固 内QC 键合 内QC Exit
D ₃	划片 划检 装片 预固化 装片 装固 内QC 键合 内QC Exit
D ₄	划片 划检 装片 预固化 装片 装固 内QC 键合 内QC Exit

仿真主要是通过对实际的半导体封装生产线进行建模，对生产线的生产能力状况等方面进行仿真研究，并通过对所建立的生产线仿真模型加载不同的调度算法，通过对生产线在采用不同调度算法的情况下生产性能的进行比较，从而对算法进行评估及确定。

具体包括：

- (1)通过对一般情况下的半导体生产线进行仿真，了解现有状况下生产线的生产性能的状况；
- (2)对同一生产线模型分别加载不同的调度算法，并分别对这些采用了不同算法的模型进行仿真研究；

(3)对不同状态下的生产线的不同生产性能进行比较分析，以此评估各个算法对生产性能的影响，从而确定最优的调度算法^[10]。

3 仿真结果

通过 EXTENDSIM 仿真软件进行计算机仿真，考察了几个在半导体行业中研究较多的动态调度方法，如表2所示。另外，通过仿真得出各调度对生产性能的影响特点，比较分析后得到优化的策略 ODR(Optimal Dispatching Rule)，提高该生产线的生产性能。

表2 动态调度方法
Tab.2 Dynamic Scheduling Method

动态调度方法	解析
First Come First Serve (FCFS)	按照在制品到达机器的先后顺序，先来先处理
Minimize Setup (MS)	在生产线上，当在制品类型变化时，机器通常需要进行重新配置，这个重新配置时间成为设置时间(setup time)。MS将高优先级赋予在缓冲内的工序设置时间的较短的在制品，对于同一机器，低优先级的缓冲中的产品必须等到高优先级缓冲中的产品全部处理完毕之后，才开始处理。
Least Dynamic Slack (LDS)	松弛时间=截止期-(当前时间+执行时间)，LDS将高优先级赋予松弛时间最小的在制品，对于同一机器，低优先级的缓冲中的产品必须等到高优先级缓冲中的产品全部处理完毕之后，才开始处理。
First Buffer First Serve (FBFS)	按照工序顺序标识缓冲，FBFS将高优先级赋予工序在先的缓冲内的在制品。对于同一机器，低优先级的缓冲中的产品等到高优先级缓冲中的产品全部处理完毕之后，才开始处理。
Last Buffer First Serve (LBFS)	按照工序顺序标识缓冲，FBFS将高优先级赋予工序在后的缓冲内的在制品。对于同一机器，低优先级的缓冲中的产品等到高优先级缓冲中的产品全部处理完毕之后，才开始处理。

对半导体封装生产线分别采取以上各种动态调度方法的情况下，生产线的各个性能指标，如表3所示。各关键设备上排队工件的平均队长，如表4所示。从表3的数据中，我们可以发现，在与调度方法 FCFS 比较中，FBFS 和 LBFS 的调度方法对生产线的性能影响较小，而 MS 和 LDS 则对生产线的性能有较为明显的改善，其中 MS 可以有效的缩短加工时间、工件的排队队长和控制制品值的数量，而 LDS 在提高产品准时交货率方面作用明显。

表3 生产线性能指标
Tab.3 Performance Indicators for Production Line

投料策略	调度方法	性能指标			
		CT/h (Cycle Time)	PE/(Lot/h) (Product Efficiency)	ODR/% (On_time Delivery Rate)	NWIP/(Lot/h) (Work In Process)
DETERMIN	FCFS	187	0.144	28	0.178
DETERMIN	MS	73	0.288	91	0.050
DETERMIN	LDS	89	0.236	100	0.102
DETERMIN	FBFS	183	0.152	27	0.192
DETERMIN	LBFS	185	0.152	26	0.186

表4 工件排队队长
Tab.4 Queue Length of the Workpiece

投料方法	调度方法	各设备上排队工件的平均队长/Lot						
		划片	装片 M21	装片 M22	装片 M23	内 QC	键和	
DETERMIN	FCFS	24.191	0.279	0.369	0.184	0.126	0.178	
DETERMIN	MS	2.558	0.123	0.162	0.198	0.326	0.102	
DETERMIN	LDS	1.955	6.475	5.418	6.941	0.132	0.069	
DETERMIN	FBFS	23.396	0.031	0.111	0.027	0.048	0.009	
DETERMIN	LBFS	20.172	0.031	0.111	0.032	0.049	0.009	

因此,我们在对仿真结果进行综合分析得出各个动态调度方法在改善生产线性能的优劣之后,根据生产线的特点吸取 MS 和 LDS 分别在改善各个主要生产性能方面的优势,得出一种优化的调度方法 ODR,并将 ODR 应用于仿真模型中,其仿真结果,如表 5 所示。我们可以发现,采用 ODR 调度方法之后生产线上各设备的在制品数量较为合理,排队队长与其他各调度方法相比具有明显的改善,能够比较充分的利用生产线的加工能力,因此生产线的整体生产性能较好。

表5 调度方法 ODR 下生产线的性能。
Tab.5 Production Line Performance of
ODR Scheduling Method

性能指标	各设备上排队工件的平均队长/Lot									
	CT/h	PE/ (Lot/h)	ODR/%	NWIP/ (Lot/h)	划片	装片 M21	装片 M22	装片 M23	内 QC	键和
	64	0.29	95	0.048	2.577	0.131	0.156	0.242	0.133	0.011

4 总结

半导体制造业正面临着全球范围内的竞争,缩短加工周期,提高生产率、资源利用率与准时交货率是每个企业都迫切需要解决的问题,这就要求使用优化与调度方法对有限的资源在生产活动中进行最优分配,实现在某种程度上能真正动态地对当前的生产状况做出响应。

通过仿真获得具有生产指导意义的调度方案对提高半导体制造生产线性能具有重要意义。我们依据某公司的实际需求,根据半导体封装生产线自身的特点,基于 ExtendSim 仿真建模,建立了半导体生产线的仿真模型。提出综合考虑产品的排队策略和机器控制的调度策略并进行模型分析和比较出新的调度策略提高了半导体制造系统的生产性能指标。

参考文献

[1] 王中杰, 吴启迪. 半导体生产线控制与调度研究[J]. 计算机集成制造系统, 2002(8): 607-611.
(Wang Zhong-jie, Wu Qi-di. Semiconductor production line control and scheduling [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2002(8):

607-611.)
[2] 方明, 乔非, 刘文胜. 半导体生产线建模及其仿真若干关键技术研究—基于 Simul8 建模仿真软件 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(1): 187-189.
(Fang Ming, Qiao Fei, Liu Wen-sheng. Studies of key issues in simulation and modeling of semiconductor production line—based on Simul8 software [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(1): 187-189.)
[3] 王中杰. 离散事件仿真及其在半导体生产线建模中的应用[J]. 系统仿真技术, 2005, 1(3): 173-176.
(Wang Zhong-jie. Discrete event simulation and its application to modeling of semiconductor manufacturing line [J]. System Simulation Technology, 2005, 1(3): 173-176.)
[4] 何伟, 倪妍婷, 李敬敏. 半导体封装测试生产规划辅助平台的研究[J]. 机械设计与制造, 2011(10): 263-265.
(He Wei, Ni Yan-ting, Li Jing-min. Study on aided platform of production planning for semiconductor assembly and test [J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(10): 263-265.)
[5] 王晓峰, 谷寒雨. 一种改进的半导体生产线批处理机调度策略研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(6): 1115-1120.
(Wang Xiao-feng, Gu Han-yu. Improved scheduling strategy for batching tools in semiconductor wafer fabrication [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(6): 1115-1120.)
[6] 李莉, 乔非, 姜桦. 半导体生产线动态调度方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(8): 949-954.
(Li Li, Qiao Fei, Jiang Hua. Research on dynamic dispatching rule for semiconductor wafer fabrication [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(8): 949-954.)
[7] 李莉, 乔非, 吴启迪. 半导体生产线批加工设备调度规则[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9): 2419-2425.
(Li Li, Qiao Fei, Wu Qi-di. Scheduling rule for batch processing machines of semiconductor wafer fabrication facilities [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(9): 2419-2425.)
[8] 顾华平, 莫锦秋. 仿真技术在半导体生产调度中的应用[J]. 机械与电子, 2005(2): 68-70.
(Gu Hua-ping, Mo Jin-qiu. The application of simulation technology in the scheduling of semiconductor manufacturing [J]. Machinery & Electronics, 2005(2): 68-70.)
[9] 乔非, 许潇红, 方明. 半导体晶圆生产线调度的性能指标体系研究[J]. 同济大学学报 自然科学版, 2007, 35(4): 537-542.
(Qiao Fei, Xu Xiao-hong, Fang Ming. Performance evaluation system for scheduling semiconductor wafer product line [J]. Journal of Tongji University Natural Science, 2007, 35(4): 537-542.)
[10] 秦天保, 王岩峰. 面向应用的仿真建模与分析—使用 ExtendSim [M]. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2011.
(Qin Tian-bao, Wang Yan-feng. Application-Oriented Simulation Modeling and Analysis—ExtendSim [M]. Version 2. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.)