



Y1531422

半导体生产过程中的计算机集成制造
Computer Integrated Manufacturing In
Semiconductor Manufacturing

(申请工程硕士学位)

硕士学位论文

领 域： 软件工程

研 究 生： 陈 峰

指导教师： 赵 政 教授

企业导师： 李志忠 高工

软件学院

二零零八年八月

中文摘要

半导体制造在世界范围内都属于高科技行业，但在国内却是属于薄弱和紧缺的行业。在新的一个世纪里半导体产业已被定为中国的支柱产业。中芯国际（SMIC）以如此大的规模，且起步就以 0.25 微米作为制造工艺基础的集成电路制造企业在国内也属于首家。现在公司已在北京和武汉建成国内最先进的 300 毫米晶片生产线，并且采用当前世界最先进的 0.09 微米制造工艺。

在半导体制造业中计算机集成制造起着举足轻重的作用。本课题就是以半导体制造这个大的环境为背景，介绍在半导体制造行业中如何使用计算机集成制造来实现设备自动化。

本论文首先介绍了 CIM 的发展和系统结构，接着介绍了 IC 制造工艺流程以及在 IC 半导体制造业中一名 IT 工程师所要具备的一些知识与能力。其次详细论述了设备自动化的实现及 Brooks 公司的 Equipment Automation 的应用软件 STATIONworks，以及 STATIONworks 与 MES 层上的应用软件 FACTORYworks 和设备机台的关系，最后是在 STATIONworks 下针对 ASYST 公司的 SMIF、SMART-TAG ST8400 和 KLA 公司的测量机台 CDSEM 编写的设备自动化程序及相应的流程。

关键字：CIM, EAP, SECS-I/II, STATIONworks, SMIF

ABSTRACT

Semiconductor manufacturing industry is one of the most advanced industries in the world. But, it is weak and becoming a key industry in China in 21st centuries. Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC) is one of the leading semiconductor foundries in the world providing wafer fabrication of 200mm and 300mm wafers at 0.35-micron to 0.09-micron technologies. Established in 2000, SMIC has ramped up 3 FABs and a 0.13 micron copper backend line in Shanghai in less than 3 years, and become the top semiconductor manufacturing company in the world. Now, it has two 300mm FABs both in Beijing and Wuhan that are ready now.


The department of CIM (Computer Integrated Manufacturing) plays a very important role in FAB automation system. This paper is to explain how CIM works in the FAB automation system.

At first, this project is to introduce the history and organization of the CIM Department, the semiconductor manufacturing process flow chart, and the knowledge that an IT engineer must have. Then, it briefly describes the whole picture of the FAB automation system including tools, brook's STATIONworks and FACTORYworks, and work relationships among them. The STATIONworks provides the communication interface between tools and host interfaces, and the application to design host interfaces. The FACTORYworks is also called Manufacturing Execution System (MES) that offers the communication interface between host interfaces and MES, and builds a bridge between host interfaces and DB. At last, this project is to implement a host interface for KLA CDSEM, a metrology tool, with ASYST SMIF, SMART-TAG ST-8400 as an example to explain the FAB automation system in details.

Key Words: CIM, EAP, SECS-I/II, STATIONworks, SMIF

独创性声明

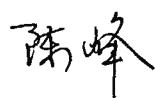
本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的科研成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 签字日期：2008 年 9 月 10 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：

导师签名：

签字日期：2008 年 9 月 10 日

签字日期：2008 年 9 月 10 日

第一章 前言

1.1 什么是 CIM

CIM (Computer Integrated Manufacturing)—计算机集成制造或电脑整合制造,它是通过集成系统的应用以及结合新管理哲学中信息沟通的方式,达到制造企业中信息完全的集成,并以此改善组织与人员的整体效率。

CIM 这一概念最早由美国的约瑟夫·哈林顿(J.Harrington)博士于 1973 年提出。哈林顿认为,企业的生产组织和管理应该强调两个观点,即:①企业的各种生产经营活动是不可分割的,需要统一考虑;②整个生产制造过程实质上是信息的采集、传递和加工处理的过程。哈林顿强调的一是整体观点,即系统观点,二是信息观点。二者都是信息时代组织、管理生产最基本、最重要的观点。可以说, CIM 是信息时代组织、管理企业生产的一种哲理,是信息时代新型企业的一种生产模式。按照这一哲理和技术构成的具体实现便是计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS)。^[1]

CIM 以计算机(软、硬件)为工具,将传统的制造技术与现代信息技术、管理技术、自动化技术、系统工程技术有机结合,使企业产品全生命周期的各阶段活动中有关的人/组织、精英管理和技术三要素以及信息流、物流和价值流有机继承并优化运行,实现企业制造活动的计算机化、信息化、智能化、集成化,以达到产品上市快、高质、低耗、服务好、环境清洁,达到制造企业中信息的完全集成,并以此改善组织与人员的整体效率,进而提高企业的柔韧性、健壮性、敏捷性,使企业赢得竞争。

CIM 的对象是制造业,例如:半导体制造、石油钻头、陶瓷制造、航空航天、无人工厂、信息光电、材料制造、机车车辆等多种专业与企业行业。CIM 的主要目标是实现工厂自动化和信息集成,增加竞争优势。而 IC(Integrated Circuit, 集成电路)是信息产业最基本、也是最重要的组件。因此我们主要介绍 CIM 在集成电路中的应用。

1.1.1 CIM的目标

- 1) 工厂自动化:设备、搬运系统、物料控制以及相关系统都能以自动化方式,减少人为错误并提升效率。
- 2) 信息集成:工厂内所有的信息都能通过计算机及网络加以集成,并进行反馈与控制,同时公司各部门之间的信息亦可互相传递与集成。
- 3) 竞争优势:良好的 CIM 系统将可提高生产效率、减少产品报废与降低

生产周期,进而建立公司的竞争优势。

1.2 CIM 在国内外的的发展情况

1.2.1 CIM的产生背景

信息、能源与材料是组成物质世界的三大要素。从某种意义上说信息就是知识。一个新产品的价值和价格主要取决于该产品的技术(知识)含量,确切地说是独占性技术的含量,而和直接成本没有关系或关系甚小。因此,只有不断地抓住机遇(指市场及技术的机遇),快速开发富含独占性技术的新产品,才能获取高额利润,在多变的市场环境中求得生存和发展。

半导体行业,世界竞争最激烈的行业之一,复杂程度日益增加的制程工艺和前全球性的竞争促使制造周期、品质以及制程的适应性有所好转。由于这些问题的复杂性,目前的制程控制通常都是非自动的、耗时的,而且致力于单独的制作机台和制程。^[2]

在这种竞争环境下,利用现代化手段——计算机集成制造系统(CIMS)技术,实现现代化管理,降低成本,提高质量,就成为一种必然趋势。

1.2.2 CIM的国内外发展现状

近年来,我国通过实施 863 计划,在计算机集成制造的研究、开发与企业应用上取得了重大的进展,走出了一条中国 CIMS 的发展之路。为了进一步促进我国集成制造的研究、开发与应用,863/CIMS 主题专家组结合国际集成制造技术的发展与中国的实践,提出了组织、管理与运行企业的新理念——计算机集成制造(CIM)。

我国共有数 10 万个制造企业,CIMS 产业的市场潜力很大。目前,我国 CIMS 技术在研究、应用领域也在不断开拓。在研究领域建立了更广泛的研究环境和工程环境,包括国家 CIMS 实验工程研究中心和 7 个单元技术开放实验室(集成化产品设计自动化实验室、集成化工艺设计自动化实验室、柔性制造工程实验室、集成化管理与决策信息系统实验室、集成化质量控制实验室、CIMS 计算机网络与数据库系统实验室、CIMS 系统理论实验室)。当前,CIMS 的进一步试点推广应用已经扩展到机械、电子、航空、航天、轻工、纺织、冶金、石油化工等诸多领域,正得到各行各业越来越多的关注和投入。

此外,CIMS 作为新型的生产模式,其本身也处于不断的发展和更新当中,并且有着非常强的应用前景,制造业实际的变化和需要也会推动 CIMS 的研究和发展。人们围绕 CIMS 的总目标,将并行工程、精良生产、敏捷制造、智能制造、虚拟制造、绿色制造、以及全球制造等许多新概念、新思想、新技术、新方法

引入到 CIMS 当中来。这些新的制造理念通过其自身特有的生产过程组织形式,并与特定的生产管理方法相联系,形成人、技术、管理的全面集成。同时这些新的制造理念的提出和研究应用也推动了 CIMS 的发展,使制造业展现出前所未有的新的发展局面。^[3]

在半导体制造业中, CIM 起着相当重要的作用。目前国内外的半导体企业都有 CIM 部门, 并且有相当的规模, 集中了企业中的精英。国内和台湾的 CIM 偏向于使用点对点控制方式, 即每个机台都由一台 Windows NT/2000 的 PC 控制, 这些 PC 分别与数据库相连; 欧美半导体企业的 CIM 偏向使用集中控制方式, 即所有机台的控制程序集中放在 UNIX 的服务器上。这样做的优点是控制程序更易于维护、升级, 而且各程序可以共享相同的模块, 缺点是成本高, 对服务器的承受能力和稳定性有较高要求, 并要解决好队列问题, 防止各进程冲突。但从长远来看, 集中控制方式代表 CIM 的发展方向, 将成为 CIM 控制方式的主流。

1.3 研究发展 CIM 的意义

- 1) 提高工艺品质: 通过 SPC (制程参数控制) 等功能, 减少产品在生产过程上的变异与详细的及时反馈。很久以来, 定期检测每个工艺步骤增加的缺陷来验收用于生产的设备, 已经成为半导体业的惯例。对设备的缺陷状况做出的判断, 对于器件的良率有非常重要的影响。^[4]
- 2) 提高设备使用率及生产效率: 通过 Scheduling(排程)、Dispatching(派工)、PM(预防保养)、Reticle Management(光罩管理)等功能来降低操作工的操作训练, 同时有效的控制生产状况并加以应用。通过设备自动化的效应, 可减少人为操作失误, 减少操作工的技术训练。
- 3) 提升产能, 降低生产周期准时交货: 通过整合性的信息及各子系统的紧密配合, 可有效的将自动化的效益加以提升, 进而提高产能、减少生产周期。

1.4 论文的主要工作

本篇论文的主要工作是设计 KLA 公司的量测机台 CDSEM 的设备自动化程序 (EAP)。该机台在整个晶片生产过程中起着关键作用, 通过量取晶片的各项数值的合格与否, 把关前几步制程的生产状况, 控制晶片的质量。

若编写出该机台相应的自动化控制程序并将其投入实际生产中, 对整个生产来说有重大意义。首先能大大降低该机台生产所需的人力和时间; 其次能消除

由手工生产引起的操作失误；第三对于设备出现故障或错误信息能给出提示，方便工程师检测维护设备。该程序现已投入使用。

编写机台的 EAP 程序，对于程序设计人员来说有极高的要求，对即将毕业的在职研究生来说也是一个难得的实践锻炼机会。编写该程序需要有很好的全局观，对生产过程中会出现的各种情况都要有全盘考虑，对于程序的检测和调试也要十分谨慎小心，若出现了错误，很可能造成严重的后果。

做此毕业设计期间需要阅读大量的参考文献和手册，并要做将近一个月时间的程序测试。做好本课题不仅能对这两年多的研究生学习进行检验，更能检验学生的各方面能力，有积极重要的意义。

1.5 论文的组织结构

本论文总共有八个章节，分别从论文背景、需求分析、系统实现用到的相关技术、总体设计、以及系统的详细设计与实现等几个方面对半导体生产过程中的计算机集成制造系统整体实现方案进行详细的论述。本论文的章节划分与内容安排如下：

第一章：详细介绍了 CIM 系统以及相关的背景知识，阐述了该课题研究的意义，介绍了国内外 CIM 系统的发展状况，并阐明了本课题研究的主要内容和 CIM 系统在设计与实现中所面临的困难，以及课题的设计与实现对于实际生产的相关贡献。

第二章：主要介绍了 CIM 的系统结构，并详细说明了 CIM 系统中四大主要部分的功能、模块以及各个模块间的相互关系。

第三章：主要介绍了半导体生产的主要流程，并分别对各个主要流程的生产原理，工艺要点进行了描述，以及本课题实现的对象——量测机台在半导体生产过程中担当的角色，以此突出课题选择对象的重要性。

第四章：重点介绍了设备自动化程序实现过程中采取的物理连接模型，以及实现半导体设备自动化的各种通信协议。其中半导体设备通讯标准中定义的 SECS-I、HSMS、SECS-II 和 GEM 协议是实现设备自动化程序和半导体生产设备间交互通信的基础。

第五章：详细介绍了实现半导体设备自动化程序的工具 STATIONworks，阐述了如何应用 STATIONworks 开发设备自动化程序。另外介绍了设备自动化程序与半导体生产设备之间相互通讯的接口 WinSECS，以及如何应用该接口实现设备自动化程序与半导体生产设备间的信息交互。

第六章：主要介绍了本课题的研究成果的应用对象实体—KLA 公司的半导

体量测设备 CDSEM, 用于存储半导体晶片的容器 (POD), 用于存储半导体晶片信息的存储器 (SMART-TAG) 以及用于将晶片导入导出机台的机械设备 (SMIF)。并且阐述了如何使用 STATIONworks 提供的 FASTsim 软件在课题实现过程中模拟上述设备。

第七章：本章主要说明了什么是设备自动化程序控制机台生产的步骤环节 (Scenario)，并介绍了使用设备自动化程序控制机台跑货所需的标准 Scenario。另外还介绍了设备自动化程序控制机台的前提条件——和机台建立通信连接的 Scenario。

第八章：本论文的最后一章介绍了根据本课题的研究对象的应用实体——KLA 公司的 CDSEM 的机台特点，为其设定相应的 Scenario，并利用微软公司的 Visual Basic 编程工具最终实现机台的设备自动化程序。通过 FASTsim 软件对最终成果进行测试，达到了课题的设计要求，并最终投入于实际半导体生产中。

第二章 CIM 的系统结构

2.1 CIM 的系统结构

在实际应用中，CIM 系统的组成要素可包括许多大小不同的子系统（包括软件、硬件以及管理系统），视公司对 CIM 确定的范围而定。通常，半导体制造业的 CIM 系统包括：

2.1.1 制造执行系统 (MES)

制造执行系统（Manufacturing Execution System, MES）主要负责生产管理和调度执行。它通过控制包括物料、设备、人员、流程指令和设施在内的所有工厂资源来提高制造竞争力，提供一种系统的在统一平台上集成诸如质量控制、文档管理、生产调度等功能的方式。^[5]

制造执行系统是整个 CIM 系统的核心，其作用是管理和控制复杂的制造环境。MES 的基本功能模块有：

- Product & Process Specifications
- WIP(Work-In-Process) Management & Material Status Tracking
- Equipment Tracking and PM Management
- EDC(Engineering Data Collection) & Analysis
- SPC(Status Process Control)
- Production Reports

MES 的高级功能模块有：

- Durable/Retile Management
- Recipe Management
- Advanced Process Control(APC)
- Material Dispatch/Batching/Scheduling
- Cost Management

目前最新的 MES 层的软件是 Brooks Automation 公司的 FACTORYworks。它的核心模块为：

- Equipment Monitoring(EQP)机台监控模块
- Site Modeling (MDL) 工厂布局模块
- Process Planning (PRP) 制造流程模块
- Work In Process Tracking (WIP) 加工中产品跟踪

- Operator Tracking (OPR) 操作员跟踪
- Context Attribute Management (CAT) 制程属性管理

扩展功能模块有:

- Engineering Data Collection (EDC) 工程数据采集
- Statistical Process Control (SPC) 统计制程控制
- Recipe Management (RMS) 配方管理
- Carrier Management (CAR)

2.1.2 自动物料搬运系统(AMHS)/物料控制系统(MCS)

AMHS (Automatic Material Handling System), 中文译作自动物料搬运系统, 也有称为天车系统的。AMHS 应用范围最广的是在半导体晶片厂。

在半导体制造技术高度发达的今天, 由于半导体生产线的巨额投入, 人们不得不尽可能的挖掘工厂的生产效率, 以期得到更大的晶片产出。一个功能强大且性能稳定的 AMHS 系统在半导体工厂里扮演了一个非常重要的角色。AMHS 系统不仅可以有效的利用宝贵的洁净室的生产空间, 并且还可以提高生产设备的利用率, 缩短在制品的等待时间, 所以在很多半导体工厂里, AMHS 都被视为可以快速提升产能, 增加生产效率的尖兵利器。^[6]

AMHS 负责处理工厂内物料搬运工具的控制与管理, 常见系统包括:

- Interbay: 在制程区域间的物料传送 (Stocker to Stocker)
- Intrabay: 在 Stocker 和设备间的物料传送

MCS (Material Control System), 物料控制系统。主要负责控制工厂内物料的传送, 找出物料的位置并寻求最佳的传送路径。在 CIM 系统中, MES 将与输送任务相关的信息 (如起点、终点、优先级等) 交给 MCS, MCS 通过协调 Stocker 和 Track 的工作将整批料 (LOT, 以后文中均用 LOT) 传送到指定的 Stocker 或 Bay 中; 负责产生有关的报表和报告。

2.1.3 设备自动化程序(EAP)

设备自动化程序 (Equipment Automation Program, EAP) 在 CIM 中担负着单元控制器 (Cell Controller) 或设备使用界面 (Equipment Interface) 的作用。设备自动化程序使用 SECSI, SECSII, GEM 和 HSMS 作为通信规范。设备自动化程序向上与 MES 集成, 向下与设备和 SMIF 系统集成。

设备自动化程序能够更全面准确地进行数据的采集, 更容易地实时数据报告, 存储; 对 FAB 中设备的实时分配监控, Recipe 的管理; 确保制程中 Recipe 的正确使用等。设备的自动化能够减少生产中的资金投入, 提高设备的利用率,

增加产量，减少产品的生产周期，提高良率，以获得最大的效益。

设备自动化程序即 EAP 在整个 CIM 中起着承上启下的作用,向上与 MES 集成向 MES 发送数据和获得数据,向下于设备和 SMIF 连接以收集数据和发送指令。

在 EAP 层上编写好的程序通过 WinSECS 与设备进行通信联系。从 EAP 到机台的通信协议类似 TCP/IP 的七层模型，底层 SECS-I 或 HSMS，上层 SECS-II 或 GEM。由于 HSMS 的高效快速和 GEM 的严谨规范，所以我们要求设备供应商尽可能提供 HSMS 接口和符合 GEM 规范的机台。

下图（2-1）为向下与设备的连接示意图,做好这部分的连接与设置是整个 EAP 中的重要工作。

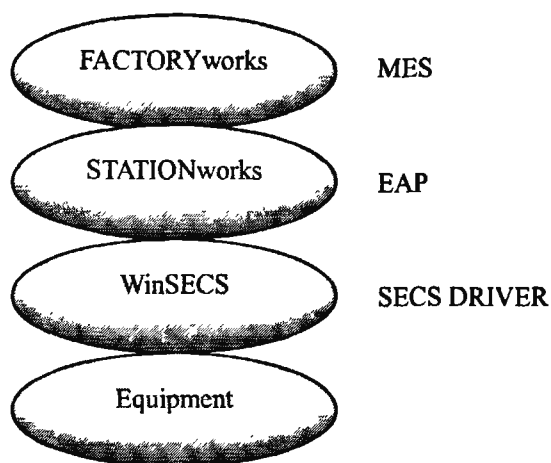


图 2-1 EAP 连接示意图

2.1.4 EAP服务应用程序(EAP Cell Server)

EAP（设备自动化程序）能够实时地与机台进行通讯，通过与 MES 的信息交互实现机台处理 LOT 自动化，而对晶片（Wafer）的工艺流程（Recipe）完全管理、Wafer 在机台上的处理流程、机台实时状态的监控、机台报警信息处理、机台空闲时间管理、量测机台的选片规则等等则不可能完全由作为单元控制器的 EAP 程序完成，此时就需要有与 EAP 程序相关联的服务应用程序来完成，这就是 EAP Cell Server。EAP Cell Server 包含：

ALS ---- Alarm Collection System, 报警信息收集系统。用来收集所有机台的报警信息，为用户提供 UI 进行历史报警信息的查询、归类；

DDMS ---- Defect Data Management System, 缺陷数据管理系统。此系统的开发基于 Defect 专门测量机台（大部分为 KLA 公司生产的机台）提供的自动存

储功能，便于用户收集产品及 Monitor 的 Defect 数据；

ELS ---- Electronic event Log System, 电子事件日志系统。该系统记录所有产品的跑货记录，例如曾经批料处理的机台、时间等；

IEMS ---- Intelligent Equipment Monitoring System, 智能机台监测系统。用于实现对机台的实时监控，并提供数据分析功能，该系统为本项目研究课题，后详细论述；

ITC ---- Idle Time Constrain, 空闲时间控制系统。在半导体制造过程中，有些机台在闲置一段时间后不能后马上对晶片进行加工，必须先“热身”，跑一些空挡片，该系统用来控制机台闲置时间的。

MCR ---- Multi-Chamber Recipe, 多制程单元控制系统。在对晶片进行加工的机台中，有一些机台（主要在 CVD、PVD、ETCH 区域应用）是多 Chamber（加工单元）的，不同的 Chamber 对晶片的加工不同，进 Chamber 的先后顺序也极为重要（例如：ABCD 和 BACD 是不同的），MCR 系统就是用来控制晶片在某一机台上用哪几个 Chamber，以及晶片进每一个 Chamber 的顺序。

PAS ---- Photo APC System (APC : Advanced Process Control 高级制程控制)，光学显影区域高级制程控制系统。

RLT ---- Recipe Lookup Table（升级后改为 CMP: Chemical Mechanical Polishing, 这个服务只在 CMP 区域用），工艺程序计算系统。用于 CMP 区域工艺程序的计算，该系统的工作原理可以基本概括为根据产品的前值（Pre Thickness 量测机台测量结果）、机台参数（Remove Rate, 移除率）以及用户设置的参数（为用户提供 UI）计算。

RMS ---- Recipe Management System, 工艺程序管理系统。在晶片制作过程中 Recipe 是极为重要的，它决定了晶片的功能、质量、特性等，一旦用错 Recipe 便可造成 LOT 的报废。该系统用来控制 Recipe，一旦有人在机台上更改过 Recipe，而没有输入 RMS 系统，系统将报错并不准 Wafer 进入机台进行工艺加工。

WSS ---- Wafer Selection System, 晶片选择控制系统。该系统用于量测机台，晶片在经过量测机台时并不是整批 LOT25 片都需要进行量测的，WSS 系统提供选片规则。

SCS ---- Security Control System, 安全控制系统。以上系统各司其职，每一个系统都可以说是对生产起着至关重要的作用，对于用户的权限管理也就十分重要了，SCS 系统就是一个管理系统权限的系统。

第三章 IC 制造工业流程

3.1 IC 简介

IC 即微芯片，也叫做集成电路，广泛应用在我们日常生活中经常见到的许多产品上，例如：电脑、手机、汽车、游戏机都使用芯片。并且现在使用芯片的产品越来越多，刺激了半导体工业的发展。

IC 是将电晶体、二极管、电阻及电容等电路组件，聚集在硅芯片，形成完整的逻辑电路，以达成控制、计算或记忆等功能，为人们处理各种服务。

IC 种类复杂，但可粗分为内存 IC、微组件 IC、逻辑 IC 及模拟 IC 四大类。

IC 的制作过程，始于设计，接着不断的重复着：光学显影、蚀刻及薄膜沉积等步骤，最后经过切割、封装之后，方可完成。

3.2 半导体的生产流程

集成电路的制作过程，始于设计，接着不断的重复着：光学显影、蚀刻及薄膜沉积等步骤，最后经过切割、封装之后，方始完成。下面我们就来介绍一下集成电路的制作过程。

3.2.1 晶片(Wafer)

晶片的生产由砂（即二氧化硅）开始，经由电弧炉的提炼还原成冶炼级的硅，再经由晶片的生长由砂（即二氧化硅）开始，经由电弧炉的提炼还原成冶炼级的硅，再经由盐酸氯化，产生三氯化硅，经蒸馏纯化后，透过慢速分解过程，制成棒状或粒状的“多晶硅”。一般晶片制造厂，将多晶硅融解后，再利用硅晶种慢慢拉出单晶硅晶棒。一支 85 公分长，重 76.6 公斤的 8 寸硅晶棒，约需 2 天半时间长成。经研磨、抛光、切片后，即成为半导体之原料——晶片。

3.2.2 光学显影(PHOTO)

光学显影是在光阻上经过曝光和显影的程序，把光罩上的图形转换到光阻下面的薄膜层或硅晶上。光学显影主要包含了光阻涂布、烘烤、光罩对准、曝光和显影等程序。小尺寸之显像分辨率，更在 IC 制成的进步上，扮演着最关键的角色。由于光学上的需要，此段制程之照明采用偏黄色的可见光。因此俗称此区为黄光区。

3.2.3 干式蚀刻技术(ETCH)

在半导的体制程中，蚀刻被用来将某种材质自晶片表面上移除。干式蚀刻（又称为电浆蚀刻）是目前最常用的蚀刻方式，其以气体作为主要的蚀刻媒介，并藉由电浆能量来驱动反映。

电浆对蚀刻制程有物理性与化学性两方面的影响。首先，电浆会将蚀刻气体分子分解，产生能够快速蚀去材料的高活性分子。此外，电浆也会把这些化学成份离子化，使其带有电荷。晶片是置于带负电的阴极之上，因此当带正电荷的离子被阴极吸引并加速向阴极方向前进时，会以垂直角度撞击到晶片表面。芯片制造商即是运用此特性来获得绝佳的垂直蚀刻，而后者也是干式蚀刻的重要角色。

电浆内部所产生的活性反应离子与自由基在撞击晶片表面后，将与某特定成份之表面材质起化学反应而使之气化。如此即可将表面材质移出晶片表面，并透过抽气动作将其排出。

电浆离子可因加速而具有足够的动能来扯断薄膜的化学键，进而将晶片表面材质分子一个个的打击或溅击（Sputtering）出来。

3.2.4 化学气象沉积技术(CVD)

化学气相沉积（Chemical Vapor Deposition），是制造微电子组件时，被用来沉积出某种薄膜(Film)的技术，所沉积出的薄膜可能是介电材料（绝缘体 Dielectrics），导体或半导体。在进行化学气相沉积制程时，包含有被沉积材料之原子的气体，会被导入受到严密控制的制程反应室内。当这些原子在受热的晶圆表面上起化学反应时，会在晶片表面产生一层固态薄膜。而此一化学反应通常必须使用单一或多种能量源（例如热能或无线电频率功率）。

CVD 制程产生的薄膜厚度从低于 0.5 微米到数微米都有，不过最重要的是其厚度都必须足够均匀。可作为半导体组件绝缘体的二氧化硅薄膜与电浆氮化物介电层（Plasma Nitride Dielectrics）是目前 CVD 技术最广泛的应用。这类薄膜材料可以在芯片内部构成三种主要的介质薄膜：内层介电层（ILD）、内金属介电层（IMD）、以及保护层。此外、金层化学气相沉积（包括钨，铝，氮化钛及其它金属等）也是一种热门的 CVD 应用。

3.2.5 物理气象沉积技术(PVD)

如其名称所示，物理气相沉积（Physical Vapor Deposition）主要是一种物理

制程而非化学制程。此技术一般使用氩等钝气，藉由在高真空中将氩离子加速以撞击溅镀靶材后，可将靶材原子一个个溅击出来，并使被溅击出来的材质（通常为铝、钛或其合金）如雪片般沉积在晶片表面。制程反应室内部的高温与高真空环境，可使这些金属原子结晶晶粒，再透过微影图案化（Patterned）与蚀刻，来得到半导体组件所要的导电电路。

3.2.6 解离金属电浆(DIFFUSION)

解离金属电浆是最近发展出来的物理气相沉积技术，它是在目标区与晶片之间，利用电浆，针对从目标区溅击出来的金属原子，在其到达晶片之前，加以离子化。离子化这些金属原子的目的是，让这些原子带有电价，进而使其行进方向受到控制，让这些原子得以垂直的方向往晶片行进，就像电浆蚀刻及化学气相沉积制程。这样做可以让这些金属原子针对极窄、极深的结构进行沟填，以形成极均匀的表层，尤其是在最底层的部分。

3.2.7 高温制程(RTP)

多晶硅（Poly）通常用来形容半导体晶体管之部分结构：至于在某些半导体组件上常见的磊晶硅（EPI）则是长在均匀的晶片结晶表面上的一层纯硅结晶。多晶硅与磊晶硅两种薄膜的应用状况虽然不同，却都是在类似的制程反应室中经高温（600 至 1200）沉积而得。即使快速高温制程（Rapid Thermal Processing, RTP）之工作温度范围与多晶硅及磊晶硅制程有部分重叠，其本质差异却极大。RTP 并不用来沉积薄膜，而是用来修正薄膜性质与制程结果。RTP 将使晶片历经极为短暂且精确控制高温处理过程，这个过程使晶片温度在短短的 10 至 20 秒内可自室温升到 1000℃。RTP 通常用于回火制程（Annealing），负责控制组件内掺质原子之均匀度。此外 RTP 也可用来硅化金属，及透过高温来产生含硅化之化合物与硅化钛等。最新的发展包括，使用快速高温制程设备在晶极重要的区域上，精确的沉积氧及氮薄膜。

3.2.8 离子注入技术(IMPLANT)

离子注入技术可将掺质以离子型态注入半导体组件的特定区域上，以获得精确的电子特性。这些离子必须先被加速至具有足够能量与速度，以穿透（植入）薄膜，到达预定的注入深度。离子注入制程可对注入区内的掺质浓度加以精密控制。基本上，此掺质浓度（剂量）系由离子束电流（离子束内之总离子数）与扫描率（晶片通过离子束之次数）来控制，而离子注入之深度则由离子

束能量之大小来决定。

3.2.9 化学机械研磨(CMP)

化学机械研磨技术 (Chemical Mechanical Polishing) 兼其有研磨性物质的机械式研磨与酸碱溶液的化学式研磨两种作用, 可以使晶片表面达到全面性的平坦化, 以利后续薄膜沉积之进行。在 CMP 制程的硬设备中, 研磨头被用来将晶片压在研磨垫上并带动晶片旋转, 至于研磨垫则以相反的方向旋转。在进行研磨时, 由研磨颗粒所构成的研浆会被置于晶片与研磨垫间。影响 CMP 制程的变量包括有: 研磨头所施的压力与晶片的平坦度、晶片与研磨垫的旋转速度、研浆与研磨颗粒的化学成份、温度、以及研磨垫的材质与磨损性等等。

3.2.10 制程监控

在下个制程阶段中, 半导体生产商用光学显微镜来量测芯片内次微米电路之微距, 以确保制程之正确性。一般而言, 只有在微影图案 (Photolithographic Patterning) 与后续之蚀刻制程执行后, 才会进行微距的量测。

3.2.11 光罩检测

光罩是高精密度的石英平板, 是用来制作晶片上电子电路图像, 以利集成电路的制作。光罩必须是完美无缺, 才能呈现完整的电路图像, 否则不完整的图像会被复制到晶片上。光罩检测机台则是结合影像扫描技术与先进的影像处理技术, 捕捉图像上的缺失。当晶片从一个制程往下个制程进行时, 图案晶片检测系统可用来检测出晶片上是否有瑕疵包括有微尘粒子、断线、短路、以及其它各式各样的问题。此外, 对已印有电路图案的图案晶片成品而言, 则需要进行深次微米范围之瑕疵检测。一般来说, 图案晶片检测系统系以白光或雷射光来照射晶片表面。再由一或多组侦测器接收自晶片表面绕射出来的光线, 并将该影像交由高功能软件进行底层图案消除, 以辨识并发现瑕疵。

3.2.12 切割

晶片经过所有的制程处理及测试后, 被切割成一颗颗的 IC。举例来说: 以 0.2 微米制程技术生产, 每片八吋晶片上可制作近六百颗以上的 64M DRAM。

3.2.13 封装

制程处理的最后一道手续，通常还包含了打线的过程。以金线连接芯片与导线架的线路，再封装绝缘的塑料或陶瓷外壳，并测试 IC 功能是否正常。下图 (3-1) 是 IC 制造的基本流程：

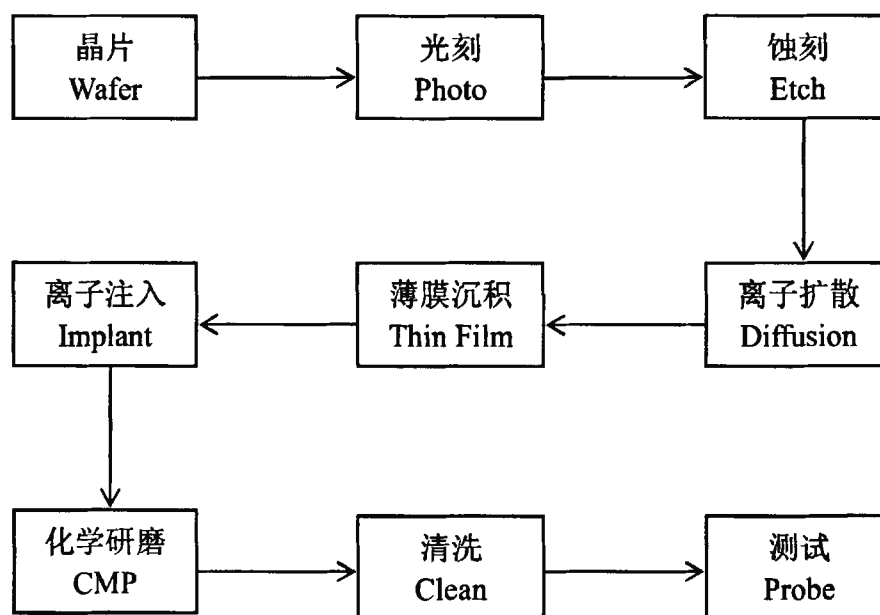


图 3-1 IC 生产基本流程

- SECS-I 串行口 RS232 的设备通信标准
- HSMS 以太网上经由 TCP/IP 的高速信息通信标准

上层的:

- SECS-II 基于 SECS-I 或 HSMS 的信息交换标准
- GEM (Generic Equipment Model) 一种描述 SECS-II 的推荐实施方法的通用模型

这些协议的关系如下图 (4-2) 所示:

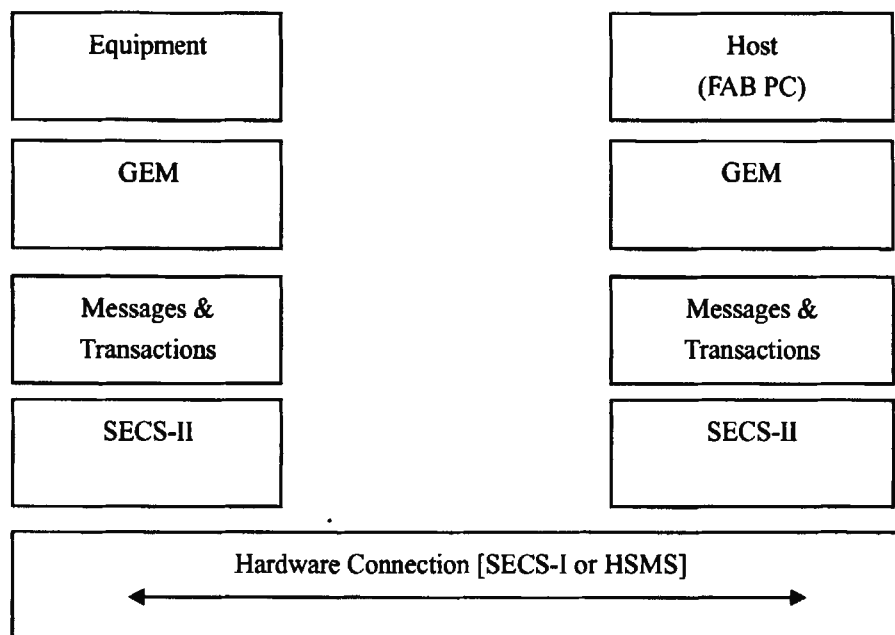


图 4-2 各协议关系图

4.2.1 SECS-I

SECS-I—串行接口 RS232 的设备通信标准，它定义了半导体制程设备和主机之间消息交换的通信界面，即物理层的相互连接，其目的是使独立的制造商所生产的设备和主机能够在不知道对方特殊信息的情况下连接起来。^[8]

SECS-I 是层次的协议标准，从上到下依次为物理层、块传输层、消息协议层。

如下表 (4-1) 所示:

表 4-1 SECS-I 层次表

底层.....>.....>高层

物理层	块传输层	消息协议层
信号电平	消息块的传输格式	多块消息传输
针脚	传输时间限制	头消息
波特率	数据传输校验	消息内块传输时限
物理媒质		消息之间传输时限
传输时间限制		

4.2.2 HSMS

HSMS (High Speed SECS Message Service) —是以太网上的高速信息通信标准, 定义了 TCP/IP 上传输 SECS-II 的通信界面, 可以提供可靠的并行的连续的字节流传输。^[9]

表 (4-2) 中显示在 HSMS 中用户定义的有以下一些参数:

表 4-2 HSMS 参数表

Parameter	Property	Value (second)
T5	Connect separation Time-out	10
T6	Control Transaction Time-out	5
T7	Connection Idle Time-out	10
T8	Network inter-character	5
T3	Reply Time-out	45
Connect Mode	Whether the entity initiates connections	Active/Passive/Alternating

Local TCP/IP	The local TCP/IP address	Hostname
Remote TCP/IP	The remote TCP/IP address	Hostname
Local IP Port	The local TCP/IP “sockets”	5000-6000
Remote IP Port	The remote TCP/IP “sockets”	5000-6000
Link Test Timer	The frequency of LinkTest control messages	60

4.2.3 SECS-II

SECS-II—基于 SECS-I 或 HSMS 的信息交换标准,SECS-I 和 HSMS 从物理方面定义了怎样连接设备和服务器,而 SECS-II 定义了 SECS 消息部分的内容,它给出了在主机和设备之间通过传输协议如 SECS-I 传输的消息的格式和意义。消息被组织成为不同的类,称作为 Stream,不同的 Stream 中根据不同的功能又分成 Function,Stream 和 Function 一起组成命令/回答的数据交互。^[10]

现已标准定义的 Stream 共有 18 种,如表(4-3)所示,其它的都可由用户自定义。

表 4-3 Stream 定义表

Stream	Activity
S1	Equipment Status
S2	Equipment Control and Diagnostics
S3	Material Status
S4	Material Control
S5	Exception Reporting (Alarm)

S6	Data Collection
S7	Process Program Management (Recipe)
S8	Control Program Transfer (Never Used)
S9	System Errors (SECS Communication)
S10	Terminal Service
S11	Host File Service (Deleted)
S12	Wafer Mapping
S13	Unformatted Data Set Transfers
S14	Object Service
S15	Recipe Management
S16	Processing Management
S17	Equipment Control and Diagnostics
S18	Subsystem Control and Data

以常用的 Stream 1 为例来介绍一下消息，所有的命令消息的 Function 的编号都为奇数，所有的响应消息的 Function 编号都为偶数，并且其编号比相应的命令 Function 编号大 1，如下表（4-4）所示。

表 4-4 Stream 1 Function 表

Stream 1 Function	Equipment Status Message
----------------------	--------------------------

S1, F1	Are You There Request (Primary)
S1, F2	On Line Data (Secondary)
S1, F3	Selected Equipment Status Request (Primary)
S1, F4	Selected Equipment Status Data (Secondary)
S1, F5	Formatted Status Request (Primary)
S1, F6	Formatted Status Data (Secondary)
S1, F7	Fixed Form Request (Primary)
S1, F8	Fixed Form Data (Secondary)
S1, F9	Material Transfer Status Request (Primary)
S1, F10	Material Transfer Status Data (Secondary)
S1, F11	Status Variable Namelist Request (Primary)
S1, F12	Status Variable Namelist Reply (Secondary)
S1, F13	Establish Communications Request (Primary)
S1, F14	Establish Communications Acknowledge (Secondary)
S1, F15	Request OFF-LINE (Primary)
S1, F16	OFF-LINE Acknowledge (Secondary)
S1, F17	Request ON-LINE (Primary)

S1, F18	ON-LINE Acknowledge (Secondary)
S1, F19	Get Attributes (Primary)
S1, F20	Attributes Data (Secondary)

4.2.4 GEM

GEM (Generic Equipment Model) 一种描述 SECS-II 的推荐实施方法的通用模型。GEM 标准只定义了设备在通信时的行为方式, 它定义了哪些 SECS-II 消息在什么时候应该使用及其产生的结果。GEM 没有定义主机在通信连接时的行为方式, 主机和设备可以在任何时候初始化任何的 GEM 信息并且设备应以在 GEM 中描述的方式响应。^[11]

GEM 并不是定义了所有的 SECS-II 中的通信功能, 它只是定义了一组通用的行为方式和通信功能。所以我们必须要求设备供应商提供不在 GEM 范围内的其他用户所需要的 SECS-II 的通信功能, 并且这些 SECS-II 功能不能和 GEM 中的通信功能冲突。GEM 的目的是为了给设备制造商和半导体制造商带来更多的经济效益, 因为大多数功能的标准化减少了两者的软件开发过程, 对于我们来说符合 GEM 能更容易实现设备自动化, 并提高设备自动化的稳定性和可靠性, 所以我们要求设备供应商能尽量提供符合 GEM 标准的设备。

4.2.5 VFEI

VFEI (Virtual Factory Equipment Interface Specification)。

如图 (4-3) 所示 VFEI 是 Cell Controller 与设备之间的接口:

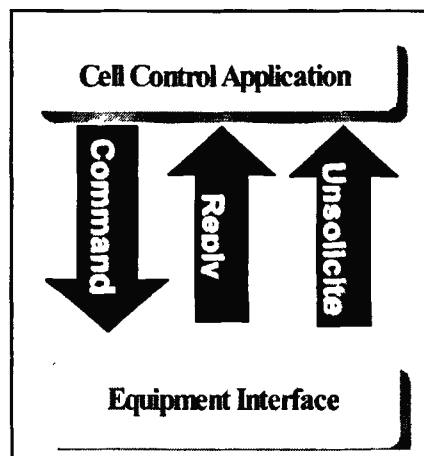


图 4-3 VFEI 连接图

VFEI 的目是为 Cell Controller 提供一个统一的视角来看待设备,从 VFEI 的角度来看所有的设备都是 VFEI 设备(虚拟设备),这样 Cell Controller 就可以消除因为不同类型设备的 SECS 接口的不同所带来得差别;这样当一种设备被另一种设备所取代时,它对 Cell Controller 接口所带来得破坏就非常小,并能提供标准的错误报告给 Cell Controller。

VFEI 支持三种类型的消息: Command, Reply, Unsolicited。^[12]消息按功能分为八类,每条消息有独立消息标识符。VFEI 标准定义了消息关键字,事件关键字以及 VFEI 接口所支持的设备的一些变量,它能识别一组半导体设备接口必须报告给 Cell Control 应用程序的事件,数据并以此来连接设备服务器与 Cell Controller 之间的通信。VFEI 提供了八种 Services,在我们的 EAP 开发中我们就是用这些 Services 来完成通信。

第五章 EAP 开发工具 STATIONworks

5.1 EAP 开发工具 STATIONworks 简介

STATIONworks 是美国 Brooks 公司开发的用于半导体生产的系统,是个能够快速开发设备自动化应用程序的集成开发平台,其目的在于在制造设备上开发和使用 Station Controllers/Equipment Managers。通过使用 STATIONworks,用户可以在多台 PC 机上进行启动、监视、停止多个生产站点,每台 PC 机可对多台设备进行操作。^[13]

5.1.1 STATIONworks 系统组成

STATIONworks 包括 SwIDE、TOM Builder、TOM Explorer、TOM Database、Visio, WinSECS, FASTsim 一些软件工具,其中重要的开发工具的特点如下:

- STATIONworks IDE (SwIDE)—The STATIONworks Integrated Development Environment。用于在开发工作站上开发状态机(即.fsm 文件)。通过使用 IDE,在开发状态机时,用户可以使用 STATIONworks Monitor(SwMonitor)运行/测试状态机并且显示.fsm 诊断信息。在开发者建立一状态模板后,IDE 就建立一个包含 Station 定义的 Station 文件(.sta);此状态模板成为一个或多个 Configuration Station 的基础,用户以后在实际生产中可以用到。^[14]
- TOM Builder—用于在开发者的工作站开发工具数据库或开发用户驱动器。^[15]
- TOM Explorer—TOM Explorer 是 STATIONworks 的一个应用程序,对于一个 TOM Tool,它能交互式浏览,并允许创建一个 Tool 实例与实际或模拟机台进行测试。TOM Explorer 能以结构化的界面展示一个 Tool。用户能使用 TOM Explorer 来控制机台或编写一个 VB 的应用程序作为机台接口。^[16]
- WinSECS—Windows compatible Semiconductor Equipment Communications Standard. 在 Windows 下使用的 SECS 协议编译器,其提供的 WinSECS.ocx 控件可在 VB 中使用。^[17]
- FASTsim—一种设备和 HOST 模拟软件,通过设置可以模拟机台与 HOST 之间相互通信所发的各种信息。^[18]

5.1.2 如何利用STATIONworks组件工作

- 1) 开发 Tool 数据库: 首先, 开发者用 TOM Builder 开发 Tool 数据库。此数据库可能包括产品提供的许多 Tool、用户 Tool 驱动器、或为某一特定机台而对其给定机台加上一些用户的属性设置的驱动器。
- 2) 开发状态机: 一旦建立了 Tool Database, 开发者就可建立一个 State Machine, 此状态机可使用数据库中的一个 Tool 或一组通用类型的 Tool。
- 3) 把状态机分配给机台: 下一步, 开发者或 CIM 工程师将对一特定的 Tool 驱动器和状态机所运行的机台命名。开发者通过生成一个 Station 模板或 Station 文件来完成这一步。

使用 Brooks 在 STATIONworks 中提供的模拟机台软件 FASTsim, 只要得到机台的 Lib 文件或 SEMI 文件, 就能导入 FASTsim 中, 与在 STATIONworks IDE 中编写好的应用程序进行测试, 不用和昂贵的机台进行早期测试。

在计算机集成中所寻求的一个目标是 MES 与设备机台的直接连接。MES (FACTORYworks) 和 EAP (STATIONworks) 间使用 API (Application Programming Interface, 应用程序接口)。然后 EAP (STATIONworks) 使用专门格式 VFEI Message (Virtual Factory Equipment Interface) 与 WinSECS 通信。WinSECS 再通过 SECS 或 GEM 与机台互发信息。除了 WinSECS 层外, 其他的接口都要求确保顺畅有效的通信。WinSECS 层通过提供一个能容易配置的包含标准信息处理服务的库来简化这个过程。

5.2 WinSECS 概述

WinSECS 即 Windows compatible Semiconductor Equipment Communications Standard。是一个通信的通道, 它在逻辑上或功能上代表着一台设备或一套软件系统; WinSECS 又相当于设备的驱动程序, 一个 WinSECS 的驱动程序作为一个 Tool 与设备对应。^[19]

STATIONworks 包含 WinSECS, WinSECS 使用面向对象的方法作为制造工具/设备的接口。用户可使用 STATIONworks/WinSECS 和设备连接或连接设备和制造执行系统 (MES)。

5.2.1 WinSECS Drivers

WinSECS 提供了一系列标准的 Tool 接口, 这些接口叫做 WinSECS drivers, 这些 drivers 是在数据库中定义好的。

WinSECS 提供了一系列的 Services, 这些 Services 能同符合 SECS, GEM,

VFEI 标准的设备一起协同工作。这些 Services 同 Tool description 一起存放在 WinSECS database 中。为了和各种不同类型的设备进行通信，WinSECS 提供了大量的预先定义好的 drivers。

5.2.2 WinSECS Services

一个 Tool 可以有一个或多个 Resource。每个 Resource 都描述了 Tool 的一个组成部分。通常一个 Tool 只有一个 Resource。当然像多管熔炉这样的设备能为每个管设单独的 Resource。WinSECS 非常的灵活，Tool 和它的 Resource 可根据要求配置。当 Tool 的两个部分使用相同的 Service 时，可把 Service 放在使用它的父层上，每个子资源能使用这个 Service。

下图(5-1)显示了 Service 的层次结构：

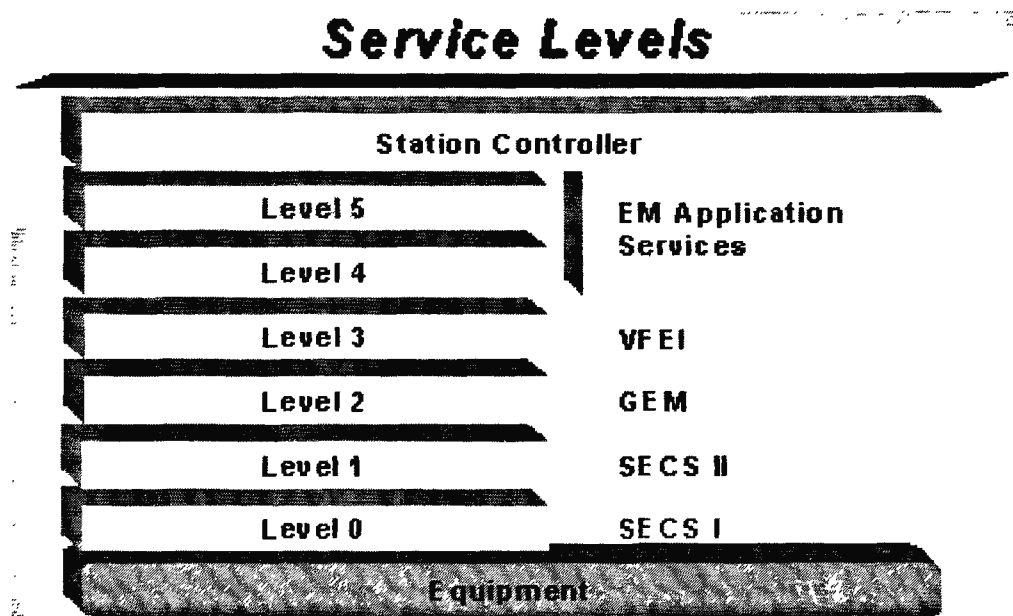


图 5-1 Service 层次结构

STATIONworks 的 Services 开发成特殊的层状结构，一般而言，第 0 层接口提供了特殊的连接接口，如 RS-232, TCP/IP，越高的 Service 就越普通；第 1 层、2 层的 Service 倾向设备和系统的说明，这些层对应着 SECSI、SECSII 的消息层；这些层的 Services 关心这消息的传送。更高层的 Services 类似于应用程序，他们不只是简单的消息传送和正确性的检查，而要解释这些消息中所包括的信息，并根据这些信息处理执行这些消息。如上图所示在第 4、第 5 层的 Services 的功能相当于工作站控制器或设备管理器。

第六章 EAP 开发对象及环境模拟

在 EAP 的开发过程中, 我们首先要建立好本机台 CDSEM 的 FASTsim 文件, 又因为每台机器都要与 SMART-TAG 通讯, 所以也要根据 SMART-TAG 的功能及通信特点建立其相应的 FASTsim 模拟软件。

6.1 KLA CDSEM 简介

KLA 公司的 CDSEM 是一种量测设备。该设备用电子显微镜来扫描晶片上蚀刻出的电路凹槽尺寸, 并将数据保存到指定的数据库中。制程工程师根据所量的数据判断晶片的光照和蚀刻两步十分合格, 是否需要重新处理。^[20]

KLA CDSEM 机台如图 (6-1) 所示。

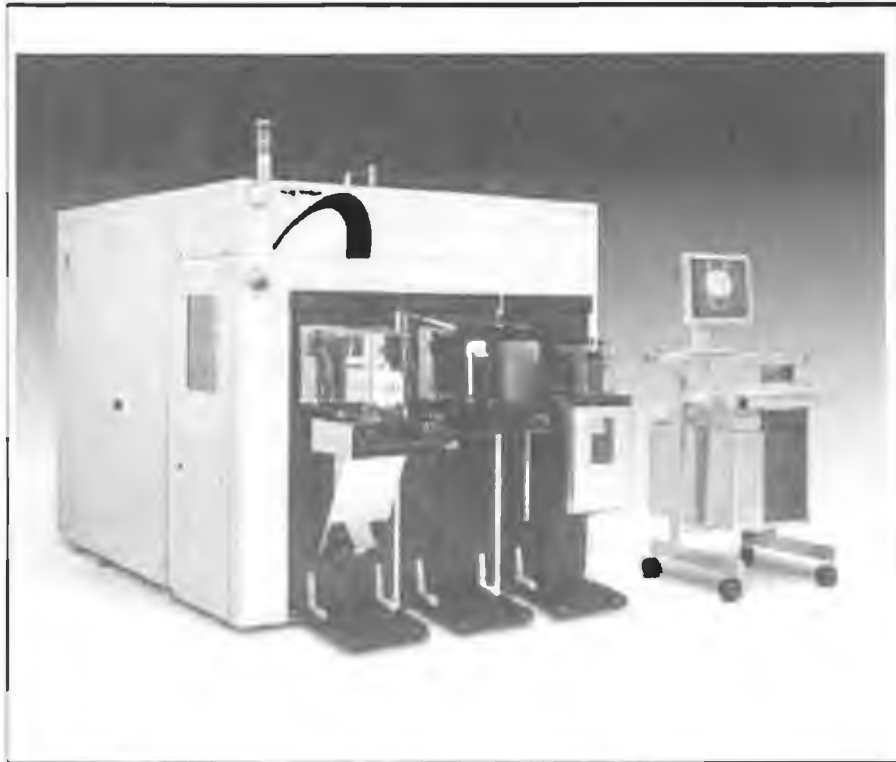


图 (6-1) KLA CDSEM

量测图像如图 (6-2)、图 (6-3) 和图 (6-4) 所示。

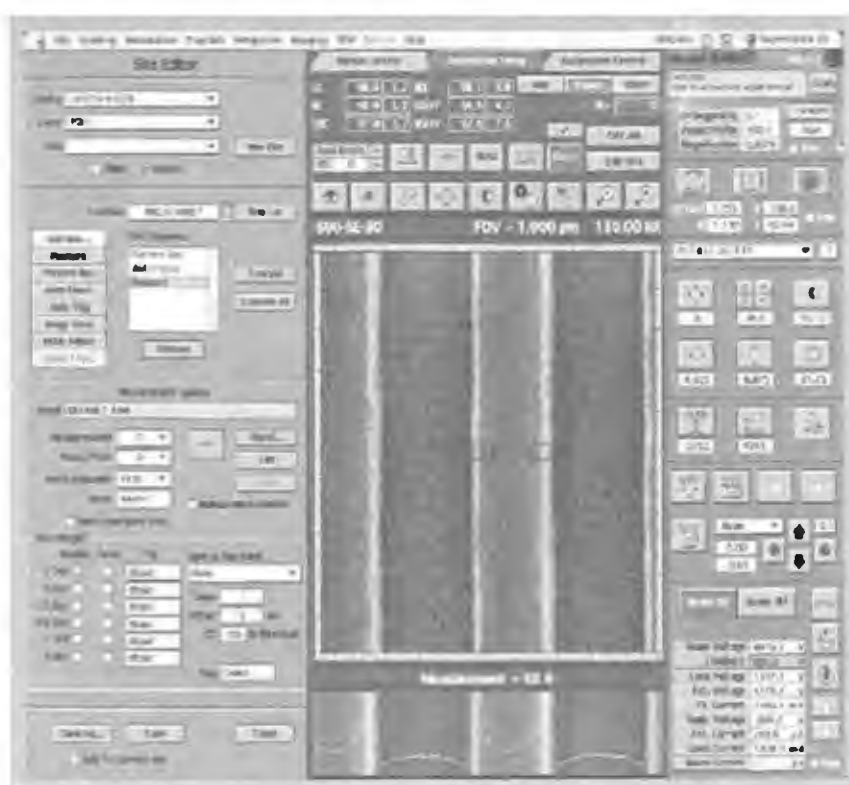


图 6-2 CDSEM 量测界面图

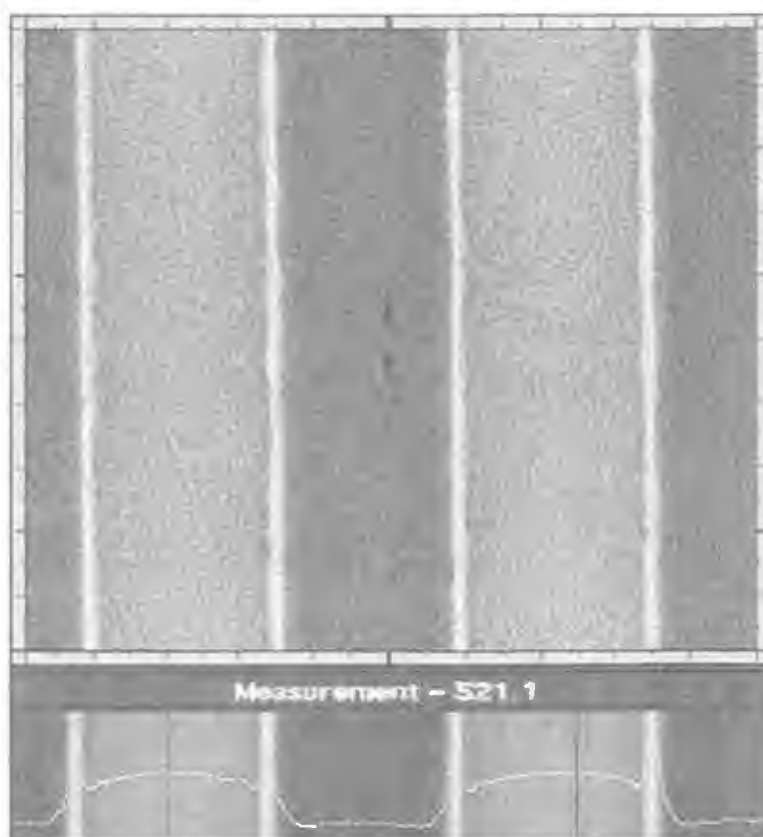


图 6-3 CDSEM 量测宽度图

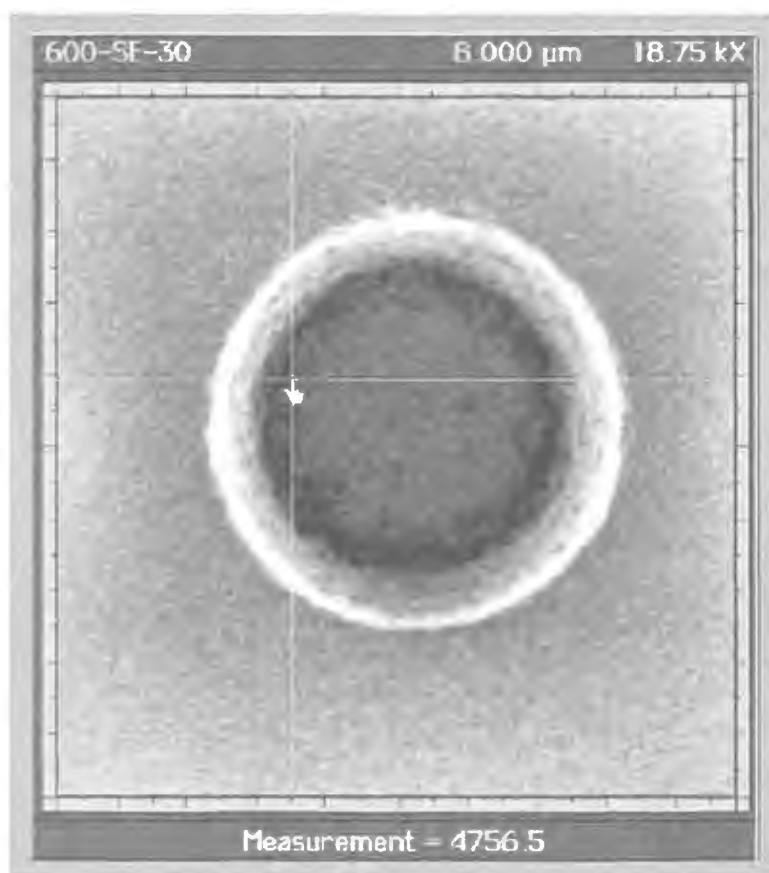


图 6-4 CDSEM 量测直径图

CDSEM 的量片规则是：每个 POD 能容纳 25 片晶片，机台会自动选择第十片进行测量，如果该 POD 的第十片不存在，则会选择离第十片最近的晶片进行抽样测量。

每片晶片的量片规则根据工程师的需求而定。每一种测量对象称为一个 SPEC (Measurement Specification)，如要量电路的槽宽叫一个 SPEC，槽的长度叫一个 SPEC，电路穿孔的直径叫一个 SPEC，如果既量槽宽又量槽长就称有 2 个 SPEC，如果三者都量就称有 3 个 SPEC，以此类推。

每个 SPEC 所抽取的样本数量也由工程师来定，一般每个 SPEC 抽取 5 个或 9 个点来测量数据。

若在晶片上抽取 5 点进行测量，则选点规则如下图 (6-5) 所示。

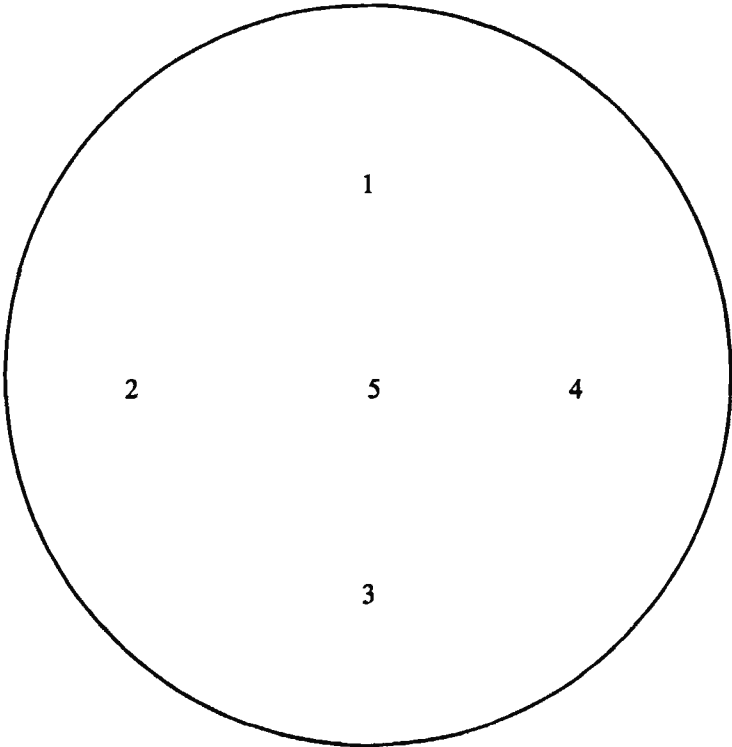


图 6-5 5 点选择规则

若在晶片上抽取 9 点进行测量，则选点规则如下图（6-6）所示。

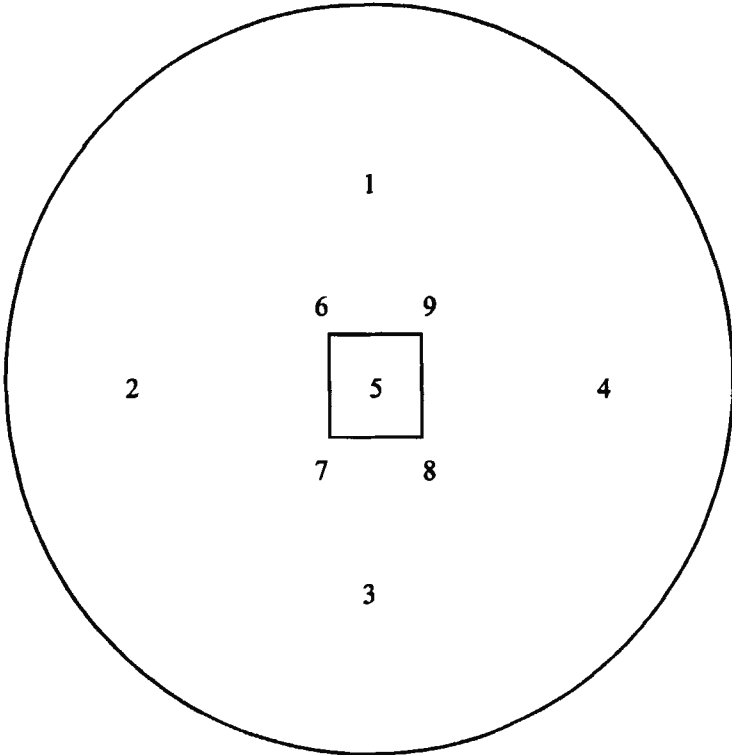


图 6-6 9 点选择规则

6.2 Cassette 与 POD 简介

Cassette 又称为晶舟，是装载晶片的搬运器。^[21]

POD 是一个密封容器，可以为晶舟提供一个密封的十分洁净的环境。^[21]

在 200mm 的晶片厂，每个晶舟最多可存放 25 片晶片。由于半导体加工过程要求洁净度十分高（有些甚至要求真空环境），晶片不能直接暴露于空气中，把晶舟置于 POD 中就使晶舟与空气相隔离。晶舟就是里面装载晶片的黑色载体，POD 就是外层透明盒子。POD 两侧提供 POD Handle，便于操作员搬运。另外，POD 的一个重要功能就是放置 SMART-TAG。

Cassette 和 POD 如下图（6-7）所示。

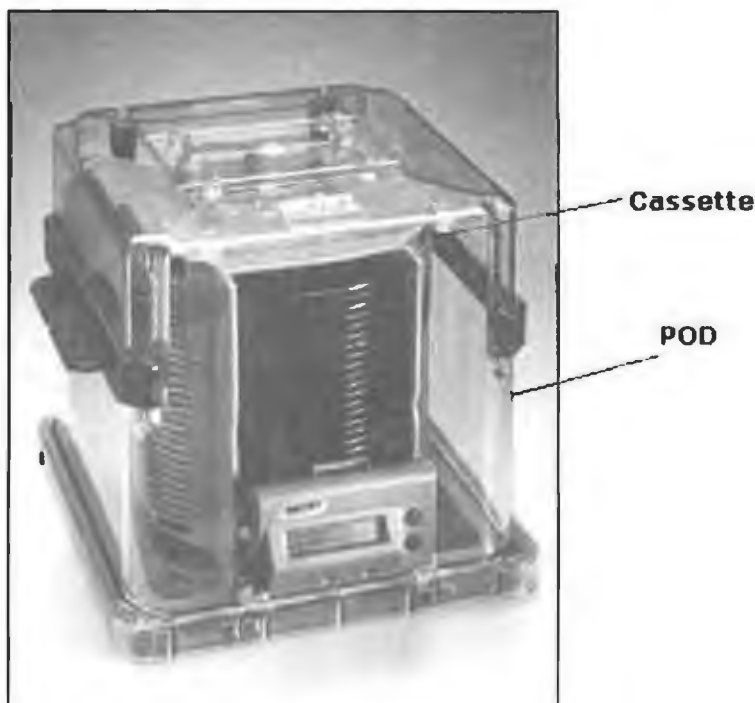


图 6-7 Cassette 和 POD

6.3 ASYST SMART-TAG 简介

SMART-TAG 是一个附于 SMIF-POD 上的电子卡片 (Electronic Run-Card)，提供批料加工状态信息，操作员可直接读取。或者通过红外线信号 EAP 系统可以与其进行信息传递。对操作员通过 LCD 提供的信息做出下一步指示，可以使错误指南最小化。当装载批料的 POD 到达当前机台时，主机可以自动通讯读取载有批料识别和程式信息的 SMART-TAG，以获得下一步加工站点和加工程式，以减少错误处理。^[22]

SMART-TAG 如下图（6-8）所示。



图 6-8 SMART-TAG

6.4 ASYST SMIF 简介

标准设备接口 (The Standard Mechanical Interface, SMIF) 是 SMIF 系统的主要部分。它是把晶片/晶舟在加工机台和 POD 间传送的接口，也就是在加工之前把晶片/晶舟从 POD 里取出并放入加工机台内部，在加工完成后再把晶片/晶舟放回 POD。^[23]

通常这种传送在一个可控制的环境中进行，或集成于加工机台，或集成于 SMIF I/O 设备，或集成两者为一体。SMIF 通过一个端口与晶片加工设备相连进行信息交互，通过另外的端口与主机 (EAP 程序运行的电脑) 相连读写 SMART-TAG 抑或其他信息的交互。

SMIF 如下图 (6-9) 所示。



图 6-9 SMIF

6.5 用 FASTsim 模拟 CDSEM、SMIF 和 SMART-TAG

Brooks STATIONworks 中提供的模拟设备软件 FASTsim 来分别模拟 CDSEM、SMIF 和 SMART-TAG。这样 IT 工程师可以很方便地对新编好的 EAP 程序进行调试，而不是直接拿到生产线上直接连接生产设备进行调试，降低了风险，而且测试 SECS/GEM 的通讯也很直观，方便找出程序中存在的 BUG。FASTsim 的界面如下图（6-10）。

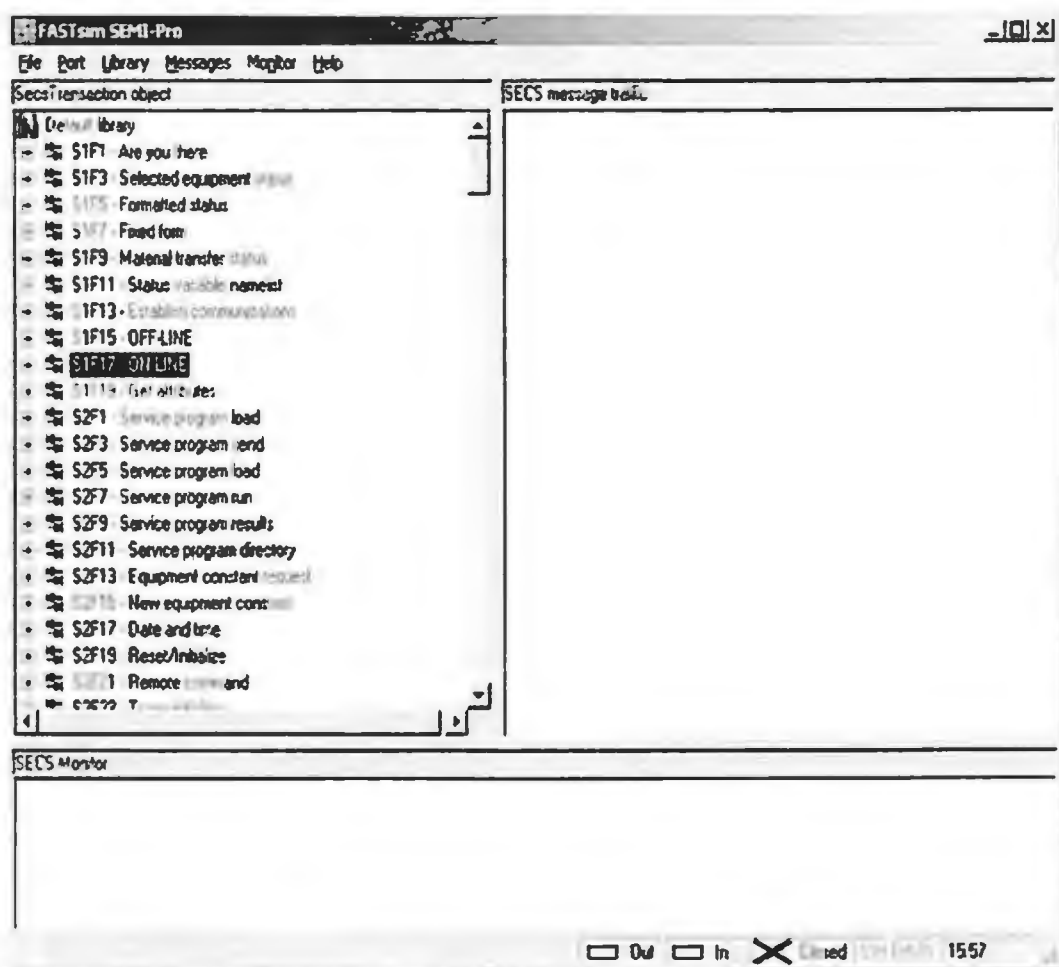


图 6-10 FASTsim 界面

在使用 FASTsim 前，首先要对 FASTsim 进行 Port 属性设置，包括所模拟的机台连接类型是 RS232 还是 HSMS，控制机台的 PC 使用哪个 COM 口或网络端口与机台连接，信息传输的波特率等。设置窗口在主窗口的 Port - Properties 中。具体设置如下：

- 1) 设置机台的连接类型。由于我们的 EAP 程序和模拟机台的 FASTsim 程序在同一台计算机上，所以无法选择串口（RS232）的连接类型，所以我们选择网络（HSMS）方式连接。设置方式如下图（6-11）。

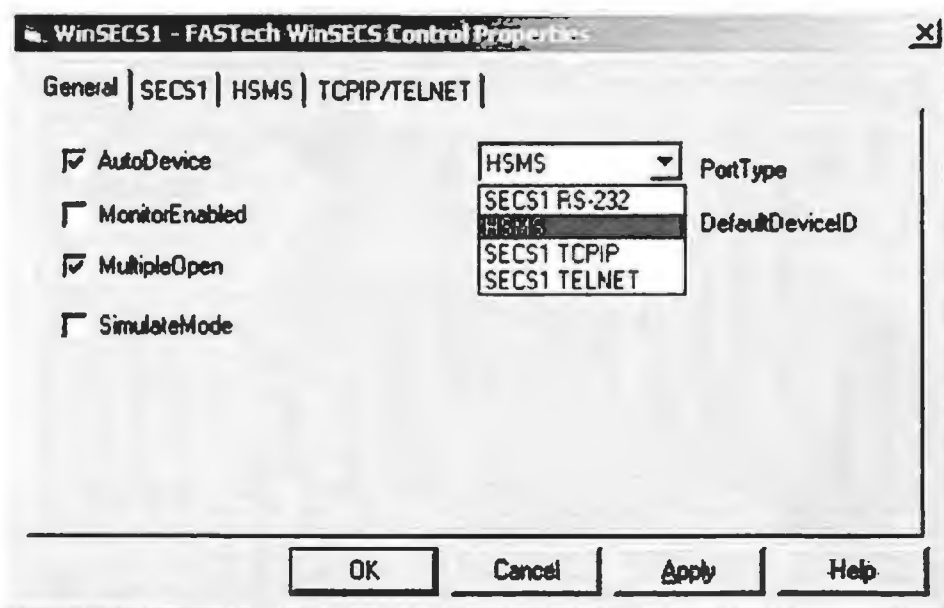


图 6-11 选择 HSMS 连接方式

- 2) 设置 HSMS 属性。因为是在同一台 PC 上作测试，所以 IPAddressLocal, IPAddressRemote 是相同的，都是本机的 IP 地址，我们将其设为 127.0.0.1。
- 3) IPPortLocal 为机台与 PC 连接所用的端口，默认为 5000。IPPortRemote 为 PC 与机台连接所用的端口，选择 5001。其余设置均使用 FASTsim 的默认值就可以。具体设置如下图(6-12)。

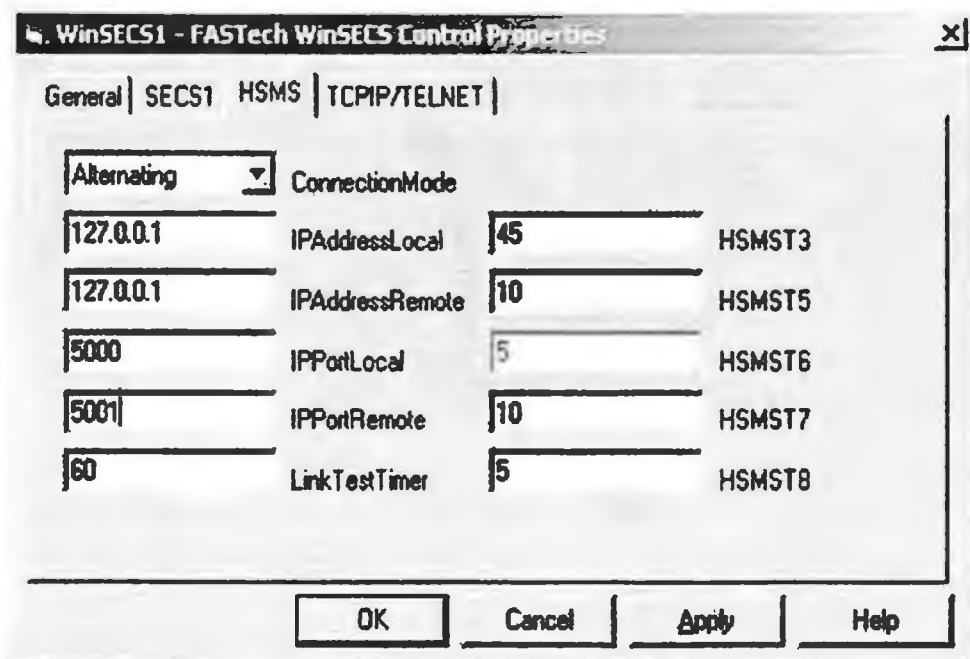


图 6-12 HSMS 设置

当我们设置以上一些参数后，我们已建立好了我们的通信连接，接下来我

们只要建立好相应的 SECS Message 的格式，就可以对一些 SECS Message 进行测试了。

第七章 CDSEM 的 Scenario 开发

7.1 什么是 Scenario?

Scenario 中文意思为剧本或游戏中的场景，它是一些行为的组合。Scenario 定义了一个 POD 从被操作工放上设备的 SMIF 到加工完成后设备通过 Arm 将 LOT 抓回 SMIF，这中间所执行的一系列操作。Scenario 的定义非常重要，通常是由 IT 工程师、工艺工程师和设备工程师共同制定出来的。制定出来的 Scenario 由 IT 工程师写成程序放在控制相关机台的 PC 端。今后机台就严格的按照 Scenario 所制定的行为来运行。

7.1.1 全自动化的 Scenario

下表 (7-1) 是一个全自动化 (Fully Automation) 生产过程的 Scenario，其中每个步骤都会有一个 SECS/GEM 格式的信息流：

表 7-1 Scenario

Pod arrival	有 POD 到达
Request lock POD	将 POD 锁在 SMIF 上
Lock complete	上锁完成
Read LOT ID from TAG	从 SMART-TAG 中读出 LOT 的 ID
LOT data sent	将读出的数据送到 MES 系统里
Request for trackin	请求在 MES 上检查信息并记录
TrackIn OK with LOT information	LOT 信息检查合格，并记录成功
Select tool recipe	在机台上选择需要的处理流程
Select tool recipe OK	处理流程选择完毕
Start loading cassette into tool	将所以晶片导入机台
Load complete	导入完毕
Update LOT type to EMP	将 LOT 类型设为空 LOT
Check tool parameter	检查机台参数设置
Check tool parameter	机台参数检查完毕
Start processing	开始跑货
Serious alarm sent out	若出现错误，机台会发出报警
Alarm handling procedure	处理报警

Collected data sent out from tool	收集机台送出的数据
Data collected sent to the Server	将收集来的数据送到 MES 上
Process complete	机台报告跑货结束
Start unloading cassette into POD	将晶片导出机台，装回 POD 中
Unload complete	导出结束
Data collected sent to the Server	将收集来的数据送到 MES 上
Request for trackout	请求在 MES 上登记跑货结束
Trackout OK with next step LOT info	登记完毕并得到 LOT 的下一步处理信息
Update TAG with next step LOT info	将 TAG 刷新为下一站的信息
Request unlock POD	POD 解锁请求
Unlock complete	解锁完成
POD remove	POD 被拿走

7.1.2 使用EAP跑货的Scenario

使用 EAP 跑货的 Scenario 如图 (7-1) 所示：

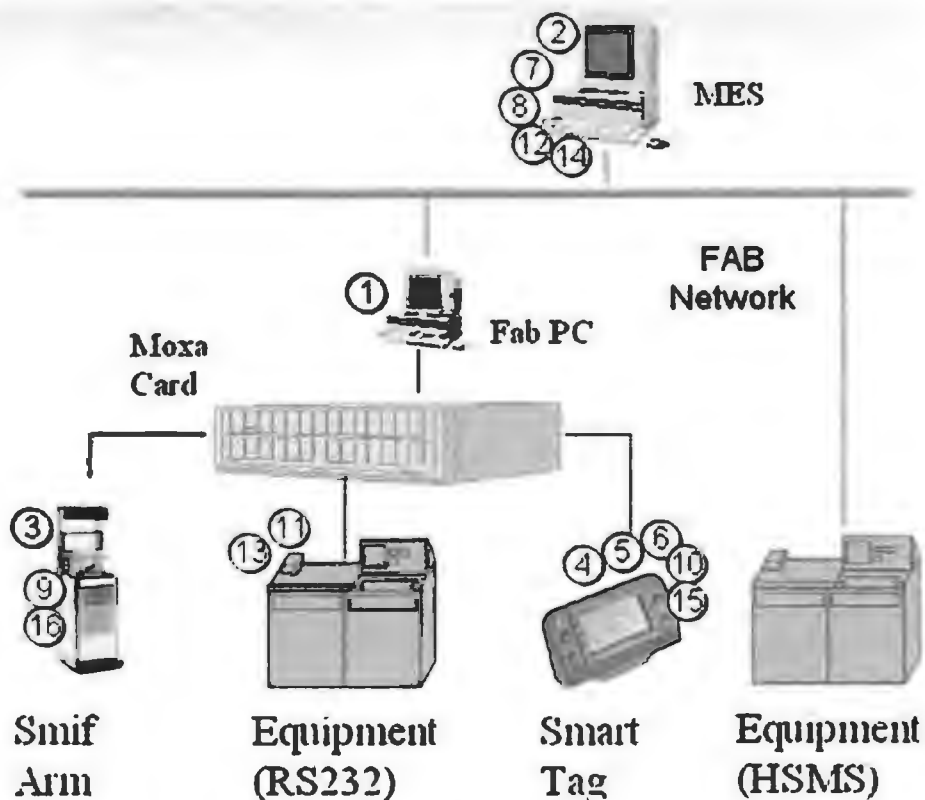


图 7-1 Scenario 图

- 1) 操作工登陆 EAP 界面。
- 2) EAP 程序到 MES 上检查登陆操作工的权限。
- 3) EAP 下锁命令给机台，将 POD 锁住。
- 4) 更新 SMART-TAG 中 LCDFile.txt 这个文件，写入当前正确的信息。
- 5) 检查该制程是铜制程还是非铜制程。
- 6) 检查 SMART-TAG 中 POD clean due day 是否到期。
- 7) 在 MES 上检查该 LOT 信息，查看是否该跑到当前站或有无错误信息。
- 8) 在 MES 上记录一下。
- 9) 将 LOT 导入机台并检查片数，看和 MES 上的片数是否相等。
- 10) 将 LOT type 改成空 (EMP)。
- 11) 选择制造处理流程 (Recipe)，开始跑货。
- 12) 自动收集跑货中机台报过来的数据。
- 13) 制程结束后导出 LOT，并检查实际处理的片数和 MES 上记录的十分相符。
- 14) 在 MES 上记帐，说明 LOT 在这一站已经跑完。
- 15) 将 POD Type 刷回 LOT。
- 16) EAP 下解锁命令给机台，POD 被解锁。

7.2 CDSEM 的状态转换分析

要实现 EAP 来控制机台自动跑货，机台就要做好相应的设置，将机台与 SECS/GEM Host 之间的连接选项设为 COMMUNICATING,将控制状态改为 ONLINE-REMOTE。

7.2.1 建立连接时的状态转换

下图 (7-2) 是建立连接时的状态转换图：

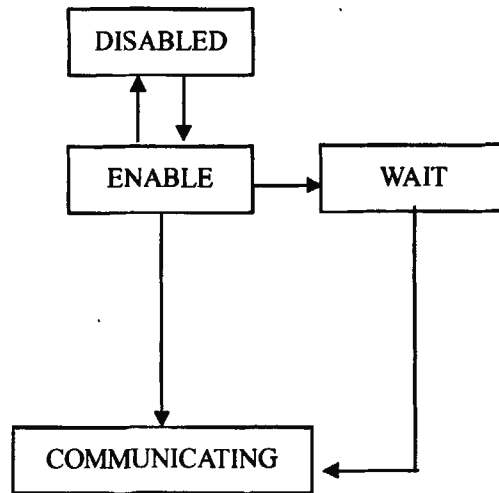


图 7-2 连接状态转换图

- 1) 机台系统初始化后，系统进入缺省状态（根据设备的参数设定）。
- 2) 操作工在机台端下命令，通信状态由 Disable 状态转为 Enable 状态，机台开始 Enable 的初始化过程。
- 3) 操作工在机台端下命令，通信状态由 Enable 状态转为 Disable 状态，切断与 Host 端的任何联系。
- 4) 当机台系统先进入初始化后，机台向 Host 端发送 S1F13，等待 Host 端的回答 S1F14。
- 5) 当机台接受到 Host 端的回答 S1F14 时，表明 Host 端做好了准备，可以开始接下去的通信联系。此时进入 COMMUNICATING 状态。
- 6) 在等待 Host 端的回答 S1F14 时，机台的检测端开启一个时间检测，如果在规定的时间内仍未接受到 Host 端的回答 S1F14，就表明建立通信失败，机台进入 WAIT 状态。
- 7) 直到机台接受到 Host 端的回答 S1F14 时，表明 Host 端做好了准备，可以开始接下去的通信联系。此时也进入 COMMUNICATING 状态。

7.2.2 在控制状态时的状态转换

下图（7-3）是在控制状态时的状态转换图：

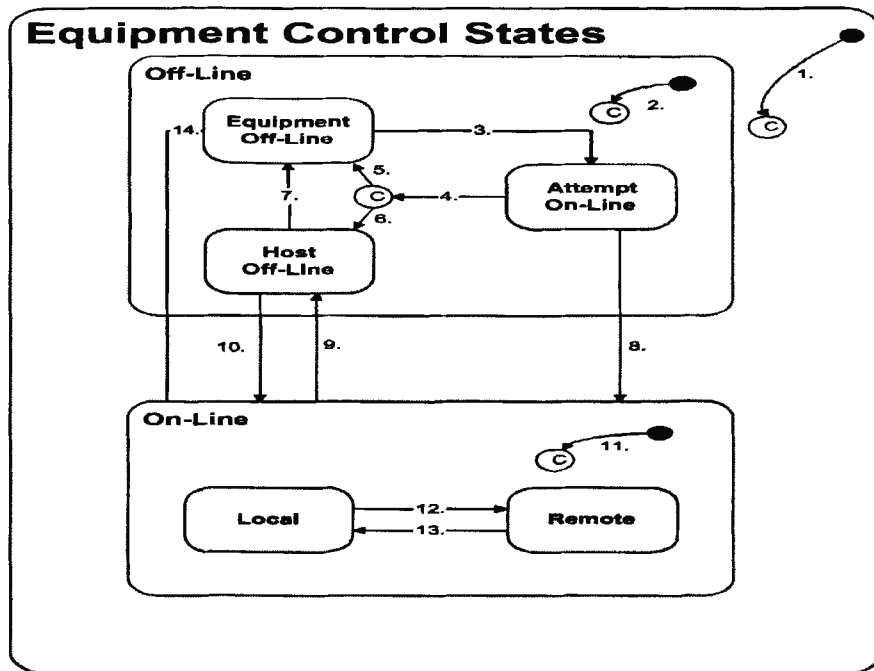


图 7-3 控制状态转换图

- 1) 在通电后根据设备的一些参数设备进入到缺省的初始状态 Off-Line 或 On-Line。
- 2) 当设备处在 Off-Line 的 Equipment Off-Line 时，若操作工在用户控制面板上选择 On-Line，则设备将进入到 Attempt On-Line 状态并发送 S1F1 的消息给 Host 请求 On-Line。
- 3) 当控制状态处于 Off-Line 的 Attempt On-Line 时，若设备发送 S1F1 消息失败，控制状态根据设备的参数设定进入到 Equipment Off-Line 或 Host Off-Line 状态。
- 4) 系统初始化后，根据参数设置，可能进入 Equipment Off-Line 的状态。
- 5) 系统初始化后，根据参数设置，可能进入 Host Off-Line 的状态。
- 6) 当控制状态处在 Host Off-Line 时，操作工从用户界面上选择 Off-Line 时设备将进入到 Equipment Off-Line 状态。
- 7) 当控制状态处于 Off-Line 的 Attempt On-Line 时，若设备发送 S1F1 消息成功，即收到 S1F2 时，设备将根据其参数设定进入到 Local 或 Remote 两个状态；在这个状态转换时设备将向 Host 发送相应的事件。
- 8) 当控制状态处在 On-Line 的 Local 或 Remote 时，Host 可以发送 S1F15 的消息请求 Off-Line,当收到 S1F16 且参数<OFLACK>为“0”时，设备将进入到 Off-Line 的状态。
- 9) 当控制状态处在 Off-Line 的 Host Off-Line 时,Host 可以发送 S1F17 请求 On-Line,当设备返回 S1F18 且<ONLACK>为“0”时，设备将根据参数的

设定进入到 On-Line 的 Local 或 Remote 状态。

- 10) 根据参数设置, 通电时控制进入到 On-Line 状态, 并根据参数的设定进入到 Local 或 Remote。
- 11) 当控制状态处在 On-Line 的 Local 时, 当操作工从用户界面上选择 Remote 时, 设备将进入到 Remote 状态。
- 12) 当设备处在 On-Line 的 Remote 状态时, 当操作工从用户界面上选择 Local 时, Host 将发送 S2F41 的 Local 命令给设备并进入到 Local 状态。
- 13) 当设备处在 On-Line 状态时, 若操作工在用户界面上选择 Off-Line, 设备将根据其参数的设定进入到 Equipment Off-Line 状态。

第八章 CDSEM EAP 实现及测试

8.1 CDSEM EAP 的实现

8.1.1 CDSEM的Scenario

在上一章里已经介绍了设备自动化生产的 Scenario, CDSEM 基本上也是按照这个 Scenario 进行自动跑货的。但 CDSEM 也有其特殊的地方:

- 1) CDSEM 的 POD Lock 不需要 EAP 下命令, 只要 POD 一放上去, 机台就会自动将 POD 锁上。
- 2) CDSEM 的 POD Load 不需要 EAP 下命令, POD 锁上后机台会自动将 POD load 进去。
- 3) CDSEM 的 Load Complete 由 MapCassetteComplete 来代替。也就是当所有的晶片都导入机台后, 机台会检查晶片的片数和 MES 上的是否相符, 如果相符就会报给 EAP MapCassetteComplete 这个消息, EAP 就认为 POD Load Complete。
- 4) CDSEM 的 Process Start 指令是由五个 SECS 消息组成, 分别是 Stop、Acquire、Addjob、Release、Start。
- 5) CDSEM 的 Unload 指令不需要 EAP 来发, 只要 Process End 后, 机台会自动 Unload, 然后将 Unload Complete 消息发来, EAP 收到后会发 Unlock 命令。
- 6) 由于 CDSEM 是量测机台, 所以还要接收机台发来的量测结果。量测结果包含在

8.1.2 CDSEM的EAP程序开发

根据 KLA CDSEM 的 Scenario 来编写 EAP, EAP 每收到机台或 SMIF 发送过来的 SECS 消息, 就触发相应的处理机。处理模块通过相应的函数处理数据, 将处理好的数据或命令通过 SECS 消息返回给机台。

EAP 将接收由机台和 SMIF 发来的消息, 其中 POD Arrive、POD Remove、Lock Complete 和 Unlock Complete 是由 SMIF 发给 EAP 的。其余的消息由机台发给 EAP, 包括 MapCassetteComplete、Process Start、Process End、MeasurementResult、Unload Complete 等。

EAP 处理 SMIF 消息的部分代码:

```
Select Case EventName
```

```
Case "Pod Arrive"
```

```
Call m_oSMIFDriver.HandlePodArrive(Trans)
```

```
Case "Pod Remove"
```

```
Call m_oSMIFDriver.HandlePodRemove(Trans)
```

```
Case "Lock Complete"
```

```
Call m_oSMIFDriver.HandleLockComplete(Trans)
```

```
Case "Unlock Complete"
```

```
Call m_oSMIFDriver.HandleUnlockComplete(Trans)
```

```
End Select
```

EAP 处理机台消息的代码:

```
Select Case EventName
```

```
Case "MapCassetteAComplete"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleWaferMapping(Trans, 1)
```

```
Case "MapCassetteBComplete"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleWaferMapping(Trans, 2)
```

```
Case "MapCassetteCComplete"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleWaferMapping(Trans, 3)
```

```
Case "Process Start"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleProcessStart(Trans)
```

```
Case "MeasurementResult"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleDataTransfer(Trans)
```

```
Case "Process End"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleProcessEnd(Trans)
```

```
Case "Unload Complete"
```

```
Call m_oEQPDriver.HandleUnloadComplete(Trans)
```

```
End Select
```

8.2 EAP 程序测试

8.2.1 FASTsim模拟环境的建立

下图 (8-1) FASTsim 模拟机台各 EVENT 的设置:

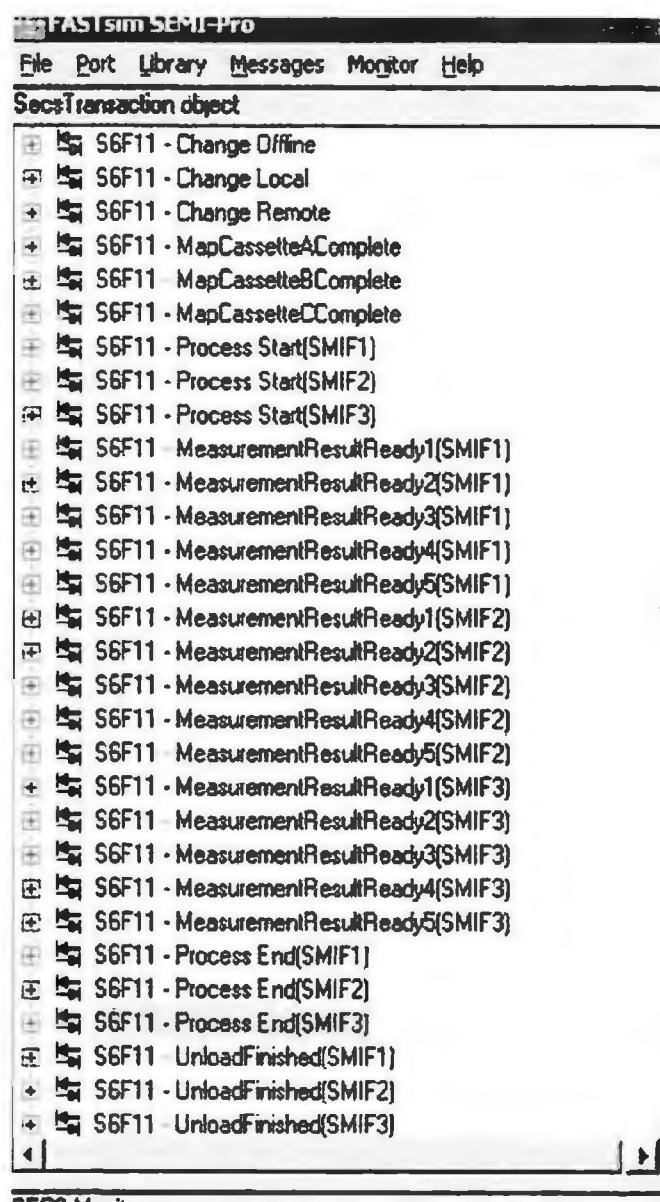


图 8-1 FASTsim 各 EVENT 设置

8.2.2 各EVENT的SECS/GEM格式

1) Pod Arrive

S6F3 * Discrete variable data send

< L [2/1] L3

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U1 [1/1] CEID 2> * Collection event ID

>

2) Lock Complete

S6F3 * Discrete variable data send

< L [2/1] L3

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U1 [1/1] CEID 31> * Collection event ID

>

3) MapCassetteComplete

S6F11 * Event report send

< L [3/1] L3

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U2 [2/1] CEID 230> * Collection Event ID

< L [1/1] La

< L [2/1] L2

<U2 [2/1] RPTID 1> * Report ID

< L [2/1] Lb

<U2 [2/1] V 25> * 片数

<A [25/1] V 111111111111111111111111111111> * 1代表有WAFER, 0

代表没有WAFER

>

>

>

>

4) Process Start

S6F11 * Event report send

< L [3/1] L3

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U2 [2/1] CEID 220> * Collection Event ID

< L [1/1] La

< L [2/1] L2

<U2 [2/1] RPTID 5> * Report ID

< L [1/1] Lb

<A [6/1] V HV0002> * Variable data


```

>
>
>
>

```

5) MeasurementResult

S6F11 * Event report send

< L [3/1] L3

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U2 [2/1] CEID 210> * Collection Event ID

< L [1/1] La

< L [2/1] L2

<U2 [2/1] RPTID 6> * Report ID

< L [9/1] Lb

<A [6/1] V LOT ID> * LOT ID

<A [17/1] V EAP:TEST:EAP_TEST> * Recipe ID

<U2 [2/1] V 1> * 取点的坐标

<U2 [2/1] V 3> * 取点的坐标

<U2 [2/1] V 2> * 测量次数

<A [3/1] V MP1> * 量几个SPEC

<F4 [4/1] V .2528> * 测量值

<F4 [4/1] V .0006> * 3 σ 值

<A [3/1] V A10> * 测量的是LOT的第几片

```

>
>
>
>

```

6) Process End

S6F11 * Event report send

< L [3/1] L3

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U2 [2/1] CEID 58> * Collection Event ID

< L [1/1] La

```

    < L [2/1] L2
      <U2 [2/1] RPTID 5> * Report ID
      < L [1/1] Lb
        <A [6/1] V LOT ID> *LOT ID
      >
    >
  >
>

```

7) Unload Complete

S6F11 * Event report send

```

< L [3/1] L3
  <U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID
  <U2 [2/1] CEID 66> * Collection Event ID
  < L [1/1] La
    < L [2/1] L2
      <U2 [2/1] RPTID 5> * Report ID
      < L [1/1] Lb
        <A [6/1] V LOT ID> * LOT ID
      >
    >
  >
>

```

8) Unlock Complete

S6F3 * Discrete variable data send

```

< L [2/1] L3
  <U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID
  <U1 [1/1] CEID 32> * Collection event ID
>

```

9) Pod Remove

S6F3 * Discrete variable data send

```

< L [2/1] L3

```

<U1 [1/1] DATAID 0> * Data ID

<U1 [1/1] CEID 1> * Collection event ID

>

8.2.3 EAP测试结果

首先将EAP 的测试环境建立好，打开 FASTsim 与 EAP 连接的端口，将模拟 MES、SMIF 的软件打开，就可以测试 EAP 程序了。

- 1) 启动 EAP 界面，如图 (8-2)，出现 Initialization Has Finished 就表明 EAP 启动成功，和机台、SMIF、MES 分别建立连接。

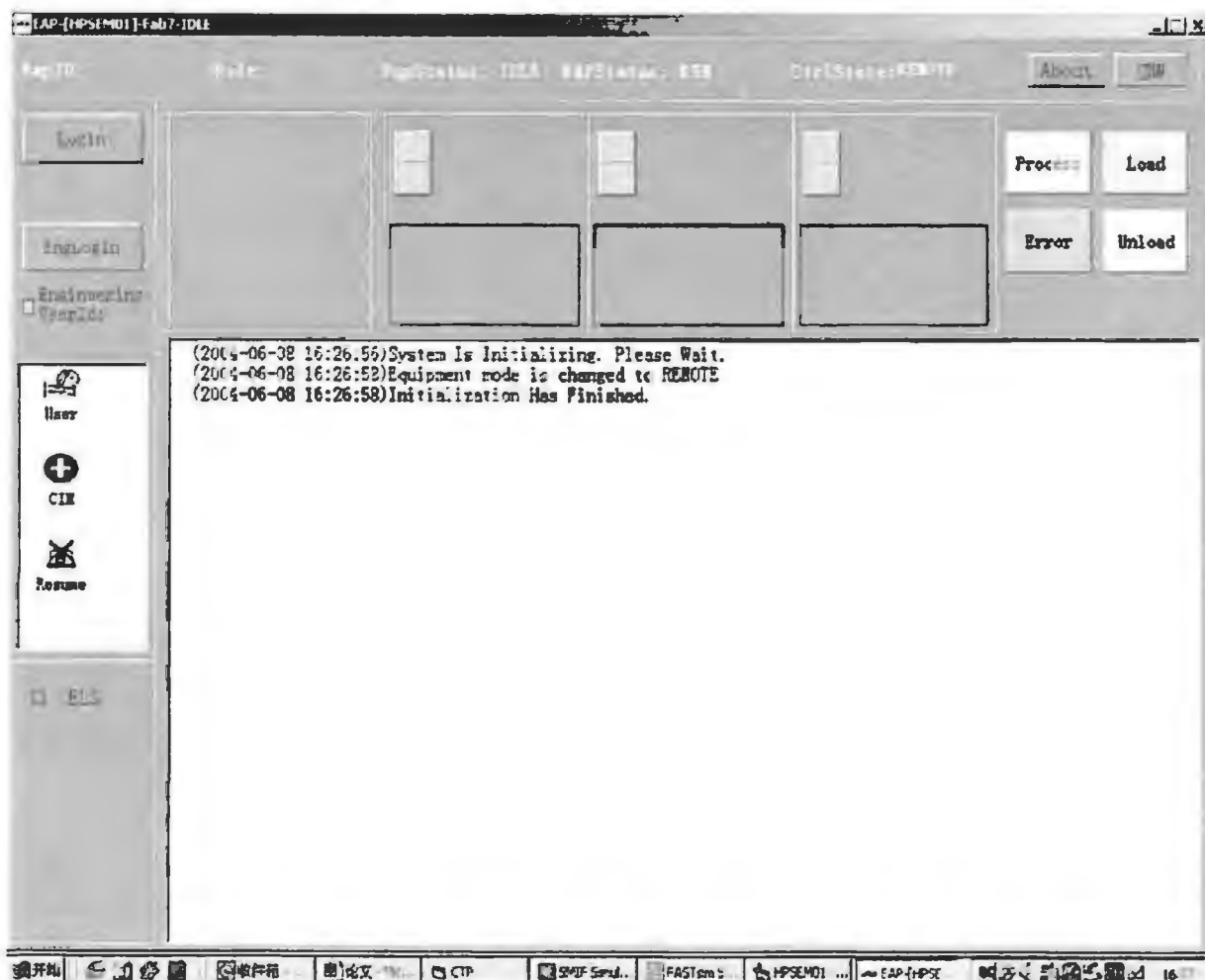


图 8-2 EAP 初始化界面

- 2) 按照 CDSEM 的 Scenario 将 FASTsim 的各个 EVENT 发送给 EAP, EAP 会做相应的处理，并将每一步的信息显示在 EAP 界面上。整个完整的过程如下图 (8-3)。

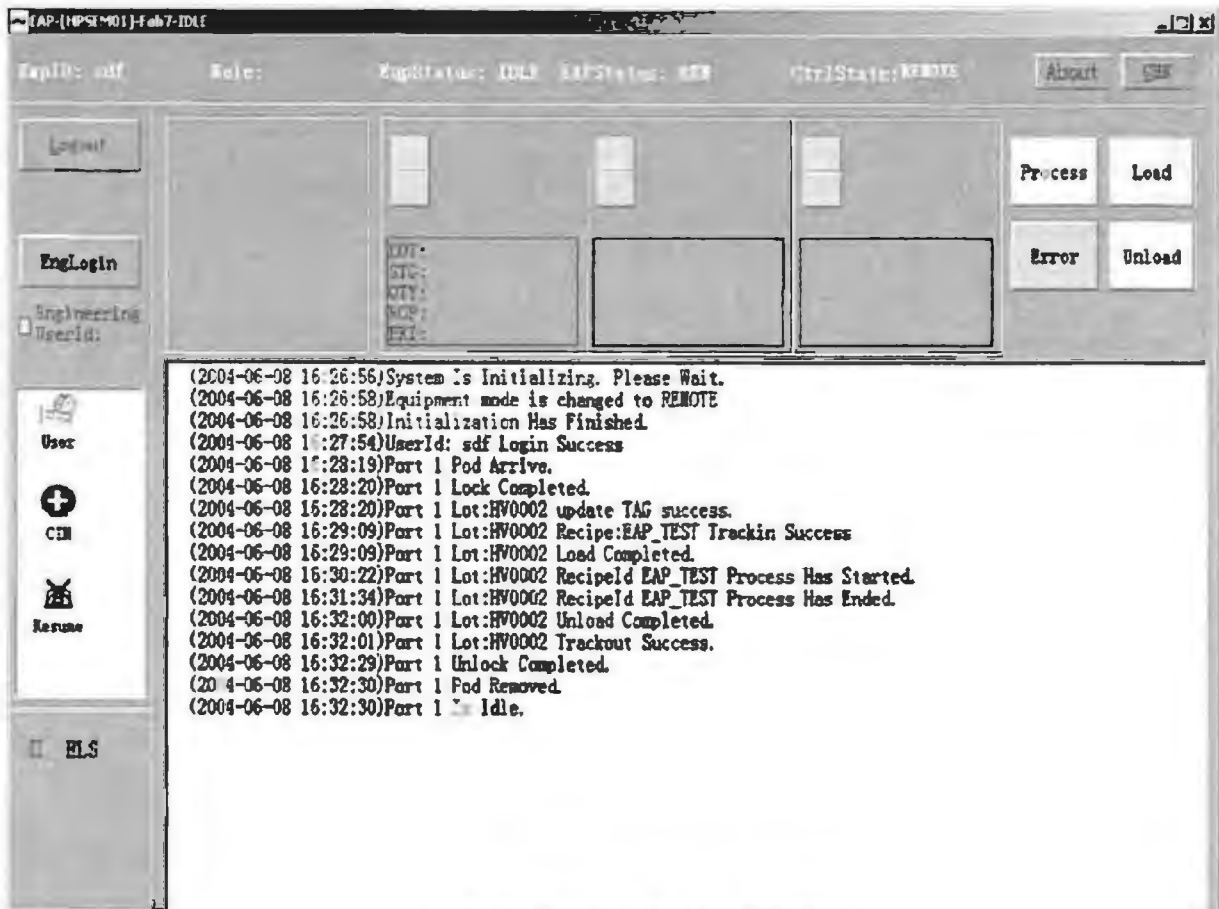


图 8-3 EAP 跑货的完整过程

参考文献

- [1] 中国自动化网,《什么是 CIM 和 CIMS》, www.ca800.com, 2005-1-21.
- [2] Hill Tom, Nettles Steve, 《Advanced process control framework initiative》, SEMATECH. Inc., 2002.
- [3] 中国行业研究网,《计算机集成制造系统 (CIMS) 及其在我国的发展现状》, www.ChinaIRN.com, 2005-7-25
- [4] Bruce Whitefield, Manu Rehani 和 Nathan Strader,《改善 Fab 良率的最佳方案》, Semiconductor International, 2005-1-5.
- [5] 李建华,《制造执行系统 MES 现状及发展趋势探讨》, www.eNet.com.cn, 2005-4-7.
- [6] 高明亮,《半导体工厂的 AMHS 系统》[硕士学位论文], 上海交通大学, 2008.
- [7] Global Information and Control Committee, 《Standard for SEMI Equipment Communication Standard Message Service》, United States of America: Global Information and Control Committee, 1999.
- [8] Global Information and Control Committee, 《SEMI Equipment Communication Standard 1 Message Transfer》, United States of America: Global Information and Control Committee, 1999.
- [9] Global Information and Control Committee, 《High-Speed SECS Message Services (HSMS) Generic Services》, United States of America: Global Information and Control Committee, 2002.
- [10] Global Information and Control Committee, 《SEMI Equipment Communication Standard 2 Message Content》, United States of America: Global Information and Control Committee, 2000.
- [11] Global Information and Control Committee, 《Generic Model for communications and control of manufacturing equipment》, United States of America: Global Information and Control Committee, 2000.
- [12] Global Information and Control Committee, 《Standard Mechanical Interface》, United States of America: Global Information and Control Committee, 2000.

- [13] Brooks Automation, 《STATIONworks Technical Brief Version 3.0》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [14] Brooks Automation, 《STATIONworks Developing an Equipment Manager Using SwIDE Version 3.0》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [15] Brooks Automation, 《STATIONworks TOM VB Application Developer's Guide Version 3.0》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [16] Brooks Automation, 《STATIONworks Using TOM Explorer with Tools Version 3.0》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [17] Brooks Automation, 《STATIONworks WinSECS Reference Manual Version 2.4》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [18] Brooks Automation, 《STATIONworks Using FASTsim Version 3.0》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [19] Brooks Automation, 《STATIONworks WinSECS Reference Manual Version 2.5》, Brooks Automation. Inc., 2001.
- [20] KLA-Tencor, 《8100 SERIES CD SEM GEM SECS Manual》, KLA-Tencor. Inc., 1999.
- [21] Asyst Technologies, 2000-0743-02 Ver A, 《Gen IV 200mm SMIF Pod Technial》, California: Asyst Technologies. Inc., 2000.
- [22] Asyst Technologies, 2000-1186-02, 《LOAD PORT TRANSFER SYSTEM》, California: Asyst Technologies. Inc., 1998.
- [23] Asyst Technologies, 2000-1186-02, 《LPT 2200XR Technical Manual》, California: Asyst Technologies. Inc., 2000.

致 谢

在论文即将结束的时候，要十分感谢赵政教授给与我的耐心、细致的教导和关怀，教授的治学严谨、对学生的负责让我深深感动。在与教授接触的半年时间里，教授的平易近人也给我留下了深刻的印象。教授不仅指导了我的论文，更让我认识到自己所欠缺的认真、细致的态度，这一改变必将影响我将来的工作和学习。在此，表达我对赵老师的最深切的感激和敬意。

论文能够顺利完成，还要感谢李志忠经理在这将近两年半的学习过程中的支持。由于工作的需求，我们需要 24*7 待命，在上课、考试的时候经理总是能够体谅我们允许手机关机。在最后的论文阶段，也对我提出了许多宝贵意见。

在学习和论文的过程中，还要感谢我周围的同事和同学。是他们在工作和学习中给与我帮助和支持，以及在这过程中我们建立起来的友谊是我的另一大收获。

最后，我要感谢我的父母和所有给予我帮助和支持的亲人、朋友。

祝我所有的师长、亲人、朋友、同事、同学一生幸福。

陈峰

2008 年 8 月