

集成电路综合自动测试系统软硬件接口设计

冯建呈¹, 闫丽琴¹, 王占选¹, 冯敏洁², 周欣萍¹, 孟旭¹

(1. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041; 2. 北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

摘要: 为满足日益增长的集成电路测试需求, 研制了集成电路综合自动测试系统; 该系统对外包含软件平台接口和硬件平台接口; 软件平台接口主要针对在被测集成电路规模越来越庞大的背景下, 测试程序开发成本高、但软件测试平台之间不能互相兼容的问题, 设计了一种基于自动测试模型的集成电路测试程序开发方法, 并采用典型集成电路进行了测试验证, 可满足测试程序开发的需要; 硬件平台接口主要满足高速信号等的传递需求, 设计了基于弹性对接技术的硬件平台接口, 并进行了结构尺寸、信号传递特性等指标的测试, 测试数据表明, 可实现测试接口板与测试头之间的稳定连接, 满足最高 1.6 Gbps、最大 2 048 通道数字信号等的传递需求。

关键词: 集成电路测试; 接口设计; 自动测试模型; Pogo Block; 弹性接入

Software and Hardware Interface Design of Integrated Circuit Automatic Test System

FENG Jiancheng¹, YAN Liqin¹, WANG Zhanxuan¹, FENG Minjie², ZHOU Xinping¹, MENG Xu¹

(1. Beijing Aerospace Measurement and Control technology Co., Ltd., Beijing 100041, China;

2. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China))

Abstract: In order to meet the increasing demand of integrated circuit (IC) tests, an integrated circuit automatic test system is developed. The system includes software platform interface and hardware platform interface. The software platform interface for IC is tested under the background of more and more large-scale IC, there are the questions of high cost for the test program development and incompatible with the software test platform, a model-based automatic IC test program development method is proposed, and the typical integrated circuit is used to test and verify, basically meet the need of the test program development. The hardware platform interface mainly meet the demand of the high-speed signal such as transfer, the hardware platform interface based on flexible docking technology is designed, and the indexes of the system structure size and signal transmission characteristics are carried out to test, the test data show that it can realize the connected stability between test interface board and plug, and satisfy the transmission requirements of the digital signal with the highest transmission speed of 1.6 Gbps and maximum of 2 048 channels.

Keywords: IC test; interface design; automatic test model; Pogo Block; flexible access

0 引言

测试是保证集成电路良率的重要手段, 其贯穿了集成电路设计、生产、筛选等环节^[1-3]。受限于国内集成电路测试设备的发展水平, 目前国内集成电路特别是超大规模集成电路的测试, 主要采用国外进口设备, 如美国泰瑞达公司的 J750 系列、UltraFlex、日本爱德万公司的 V93000 以及 NI 公司的 STS 测试系统^[4-7]。但因集成电路测试系统专业性强、应用范围较为集中, 国内外也未形成测试系统标准, 这种现状导致各厂家研制的集成电路测试系统之间的软硬件兼容性差。随着国内集成电路产业的发展, 集成电路产量急剧增加, 并且集成电路的规模越来越大, 导致测试程序、测试接口板的开发难度和工作量越来越大。

测试程序开发方面。由于测试系统之间互不兼容, 测试厂、封测厂等为了提升测试产能, 需要在不同的测试软件中重复开发, 导致时间成本、经济成本急剧增加。基于

自动测试模型接口采用建模方法, 可在测试程序开发之前, 即完成全部相关测试内容的模型构建, 通过测试程序导入、解析生成测试程序的核心部分, 根据不同测试软件的存储格式要求存储模型, 可应用于不同的测试软件, 一定程度降低了测试程序的移植难度。

测试系统硬件接口方面。因为国产集成电路测试系统的规模相对较小、测试信号的速率相对较低, 在测试接入接口方面一般采用固定针的连接, 与国外领先机台之间存在较大的技术差距。如国外系统中的数字通道板最高测试速率可达 1.6 Gbps^[8-10], 而国产集成电路测试设备的测试速率较低, 一般在 200 MHz 以下, 主要应用在中小规模数字集成电路、模拟电路和混合信号电路测试中, 基本不能满足 FPGA、CPU、DSP 等典型国产超大规模集成电路的测试需求。通过研制基于弹性接入的硬件平台接口, 可满足超大规模集成电路高密度、大通道数、高速率的信号传

收稿日期: 2022-04-21; 修回日期: 2022-12-05。

作者简介: 冯建呈(1982-), 男, 山东济宁人, 硕士, 高级工程师, 主要从事集成电路测试方向的研究。

引用格式: 冯建呈, 闫丽琴, 王占选, 等. 集成电路综合自动测试系统软硬件接口设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(7): 1-7, 41.

递需求。

针对当前国内集成电路产业快速发展的现状,基于上述测试接口,进一步研制了国产超大规模集成电路综合自动测试系统,该系统未来可有效满足国产超大规模集成电路在设计验证、量产测试等方面的测试需求。

1 总体接口设计

所研制的超大规模集成电路综合自动测试验证系统(以下简称:测试系统),包含硬件平台、软件平台,对外接口包含硬件平台接口部分和软件平台接口部分。

其中硬件平台提供被测集成电路所需的硬件测试资源,硬件平台接口主要包含测试对接锁紧装置和电气信号接口,实现测试接口板与测试系统中测试头的电气连接。软件平台具备开发运行、数据分析、状态监控、硬件管理等功能,其对外接口主要包含测试程序开发 UI 和自动测试模型接口。超大规模集成电路综合自动测试验证系统对外接口组成如图 1 所示。

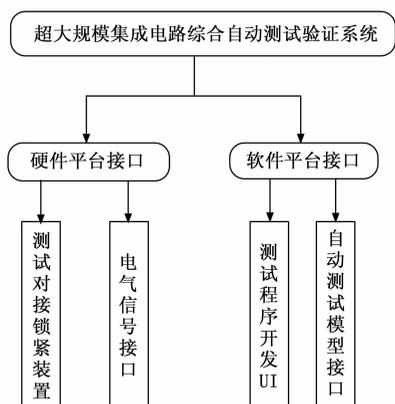


图 1 超大规模集成电路综合测试验证系统对外接口组成图

2 基于模型描述的软件接口设计

2.1 软件总体组成

综合自动测试软件^[11-13]采用开放式、模块化的软件架构以及层次化的设计方法,提高软件调试过程的灵活性,方便进行功能扩展。软件功能架构共包含 4 个功能层次:人机交互管理层、测试需求与策略层、测试执行层和数据分析层。

交互管理层提供友好的人机交互界面,用于人机交互管理和维护操作,包括用户信息管理、状态监控管理、系统自检/自校准管理和软件对外围程序的接口管理功能。测试需求与策略层从仿真设计文件出发,最终生成测试系统可以识别的测试程序策略文件;基于测试需求分析,通过对测试资源和测试方法进行描述,生成测试激励数据,相应配置测试资源参数,编译、链接生成测试程序策略文件,主要包含测试开发软件子平台的 2 个功能模块:测试矢量生成和测试程序生成。测试执行层的核心功能是将测试需求与策略层生成的程序文件下载到测试头硬件资源的存储

器中,并具体执行测试流程,控制系统仪器设备完成对被测 DUT 的测试过程,属于测试执行的实体,实现对待测芯片的具体测试。数据分析层基于可视化分析工具和数据库存储分析技术,对测试执行过程输出的结果数据进行分析,主要包括数据分析软件子平台的 2 个功能模块:测试数据分析工具和数据库与数据管理功能,实现对测试结果数据的总体分析与存储。综合自动测试软件功能层次架构图如图 2 所示。

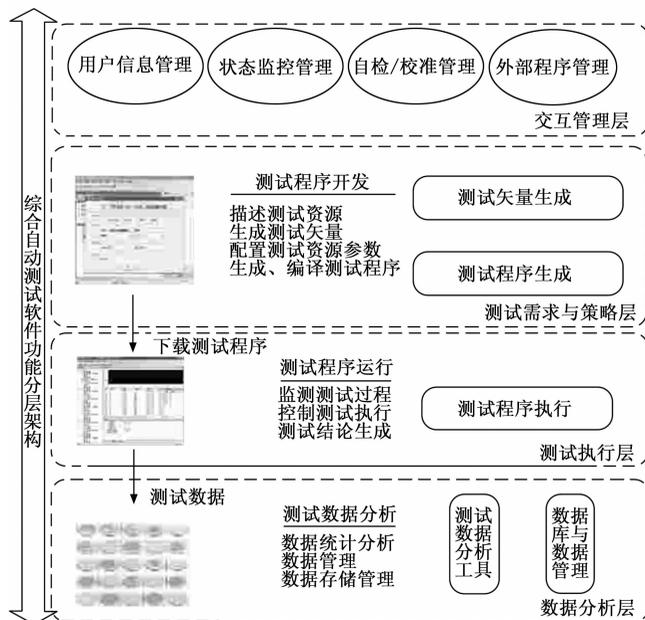


图 2 软件功能层次架构图

2.2 自动测试模型总体设计^[14]

测试程序开发 UI 主要满足用户在软件平台开发测试程序的需要。自动测试模型接口则是采用建模方法,在测试程序开发之前,即完成全部测试内容模型构建,并生成测试模型,可用于通过模型检查发现测试配置冲突等问题,并通过测试模型导入解析直接生成测试程序。

集成电路自动测试模型建模方法包括 UUT (被测对象) 模型建模、连接关系模型建模、信号模型建模、测试项目模型建模、测试流程模型建模、模型文件格式等。其中模型文件的具体格式根据所面向的测试软件的不同,格式可自定义。

集成电路自动测试模型建模基本流程为首先建立 UUT (被测对象) 模型建模, UUT 模型为全部模型的基础。在此基础上,依次完成连接关系模型建模、信号模型建模、测试项目模型建模、测试流程模型建模等。其中信号模型建模包含电源属性,电平、时序、向量等数字信号属性,模拟信号、射频信号属性等的设置。在模型建立完毕后,可以导出为模型文件。各模型文件格式根据所面向的测试软件的不同,格式可自定义。集成电路自动测试模型建模方法流程图如图 3 所示。

上述流程中, UUT 模型主要实现被测集成电路的引脚

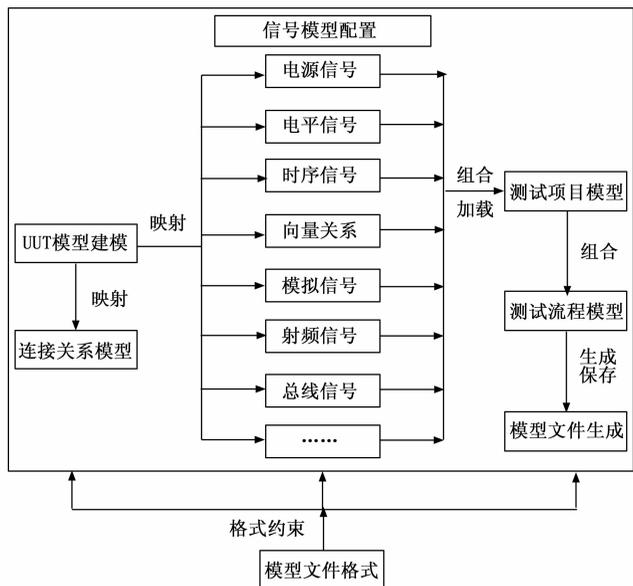


图 3 集成电路自动测试模型建模方法流程图

信号及其输入输出属性描述; 连接关系模型, 主要描述测试仪器通道与被测集成电路引脚之间的连接关系; 信号模型, 主要描述被测集成电路测试所需的电源属性, 电平、时序、向量等数字信号属性, 模拟信号、射频信号等属性; 测试项目模型, 基于信号模型, 组合出面向不同测试需求的测试项目; 测试流程模型, 基于测试项目模型, 组合出测试项目的执行顺序、执行失败或通过下的跳转目标、执行开始与结束的动作、中断的标志。

2.3 UUT 模型设计

UUT 模型是其余测试模型的基础。UUT 模型创建过程如下: 首先建立 UUT 引脚名称, UUT 引脚名称是所有测试关系互相索引的基础数据。在引脚名称的基础上, 配置各引脚的属性: 输入、输出、差分、模拟、射频、串行、电源等不同属性。为了提高测试效率, 可对 UUT 引脚分组, 如建立输入信号组、输出信号组、数据总线信号组等, 并予以命名, 在后续的其他模型建模中, 可直接引用。上述操作完毕后, 可按照模型文件格式保存。

以某型存储器的 UUT 模型建模为例, 首先建立存储器引脚名称: 电源引脚、数据引脚、地址引脚、控制引脚等; 其次设置各引脚的属性: 电源、输入、输出、双向等不同属性。为了提高测试效率, 可对存储器引脚分组, 如数据总线、控制总线、地址总线。在后续的其他模型建模中, 可直接引用。上述操作完毕后, 可按照模型文件格式保存。以存储器为例的 UUT 模型建模流程图如图 4 所示。

2.4 连接关系模型设计

连接关系模型建立被测集成电路与测试仪器资源通道的映射关系。首先读取 UUT 模型, 解析出 UUT 模型中的引脚名称和信号属性。按照引脚名称为索引, 逐个连接或者设置仪器资源通道。在连接通道过程中, 对 UUT 引脚的属性和仪器资源通道属性进行匹配性检查, 如不匹配, 则

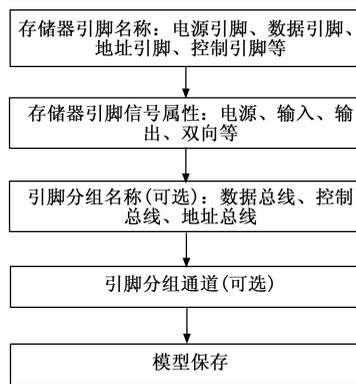


图 4 UUT 模型建模流程图

输出错误信息。连接关系建立后, 可根据模型文件格式保存连接关系模型。

以某型存储器的连接关系模型建模为例。首先读取存储器的 UUT 模型, 解析出存储器模型中的引脚名称和信号属性。按照引脚名称逐个连接电源通道、数字测试仪器通道。在连接通道过程中, 对存储器引脚的属性和电源通道、数字测试仪器通道属性进行匹配性检查。以存储器为例的连接关系模型建模流程图如图 5 所示。

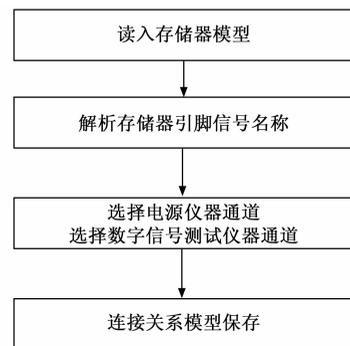


图 5 连接关系模型建模流程图

2.5 信号模型设计

信号模型, 主要描述被测集成电路测试所需的信号属性。首先读取并解析 UUT 引脚信号名称及其属性, 后续在配置信号模型属性时, 将根据各引脚属性进行规则检查, 如信号属性与引脚属性冲突, 则输出错误信息。如对电源引脚配置数字信号属性, 则应输出错误信息。

信号属性分为: 电源属性, 电平、时序、向量等数字信号属性, 模拟信号、射频信号等, 可根据测试需要扩展信号类型。

电源信号属性配置: 根据测试类型不同, 建立电源信号组合, 如工作电源信号组合, 拉偏电源信号组合, 静态电源信号组合等。在每种电源信号组合下, 对于各个电源引脚进行参数配置, 主要配置测试状态(如开、关)、参数范围(如电压范围、电流范围)、运行模式(如各路电源的开启顺序、开启延时、关闭顺序、关闭延时等)等模式。

电平信号属性配置: 根据测试类型不同, 建立电平

信号组合,如连接性(开短路)电平信号组合,功能测试电平信号组合等。在每种电平信号组合下,对于各个数字引脚进行参数配置,主要根据数字引脚的输入、输出属性,配置 VIL、VIH、VOL、VOH、IOH、IOL、负载模式等。

时序信号属性配置:根据测试类型不同,建立时序信号组合,如交流参数时序信号组合,功能测试时序信号组合等。在每种时序信号组合下,对于各个数字引脚进行参数配置,主要根据数字引脚的输入、输出属性,基于事件驱动的原理,配置每个事件动作的特性和发生事件,如事件 A 为驱动高电平,发生在 0 ms,事件 B 为驱动低电平,发生在 1 ms 等。

向量关系属性配置:根据测试类型不同,建立向量关系组合,如直流参数测试向量关系组合,交流参数测试向量关系组合,功能测试向量关系组合等。在每种向量关系组合下,首先按照适用的软件平台需要的向量格式编写向量文件,如参照 STIL 标准,向量文件中的 UUT 引脚要与前述 UUT 模型文件完全一致。向量文件的数量应不少于测试向量组合的数量,在编写完向量后,在各个向量组合的属性中选择对应的向量文件。配置完毕后,可根据模型文件格式保存模型。模拟信号、射频信号以及其他根据测试需要扩展信号的属性配置可参照上述过程自定义。

在完成上述全部信号属性定义并保存模型后,按照模型文件格式保存为信号模型文件。

以某型存储器的信号模型建模为例。存储器的信号模型建模包括电源属性,电平、时序、向量等数字信号属性配置。首先读取并解析存储器引脚信号名称及其属性。然后依次配置电源信号属性、电平信号属性、时序信号属性、向量关系属性。其中向量关系属性配置:主要分为针对延时时间、建立时间、读写时间等参数测试的向量关系组合,以及功能测试向量关系组合等。在每种向量关系组合下,采用 STIL 标准格式编写向量文件。功能测试向量关系组合对应的向量文件主要包含 MARCH、WALK、全 0 全 1 等。

在完成上述全部信号属性定义并保存模型后,按照模型文件格式保存为信号模型文件。以存储器为例的信号模型建模流程图如图 6 所示。

2.6 测试项目模型设计

测试项目模型,基于信号模型文件,组合出面向不同测试需求的测试项目。首先加载信号模型文件,根据需要建立不同类型的测试项目模型名称,如开短路测试、直流参数测试(如输入电压测试、输出电流测试等)、交流参数测试(如传输时间测试)、功能测试等;其次在各测试项目中,配置需要引用的信号属性,包括电源、数字信号、模拟信号等的属性。为保证测试程序正确执行,在测试项目执行前或执行后可加入相应的执行动作,如延时、计算等。配置完毕后,可根据模型文件格式保存模型。

以某型存储器的测试项目模型为例。首先加载信号模型文件,依次建立测试项目,配置需要引用的信号属性。

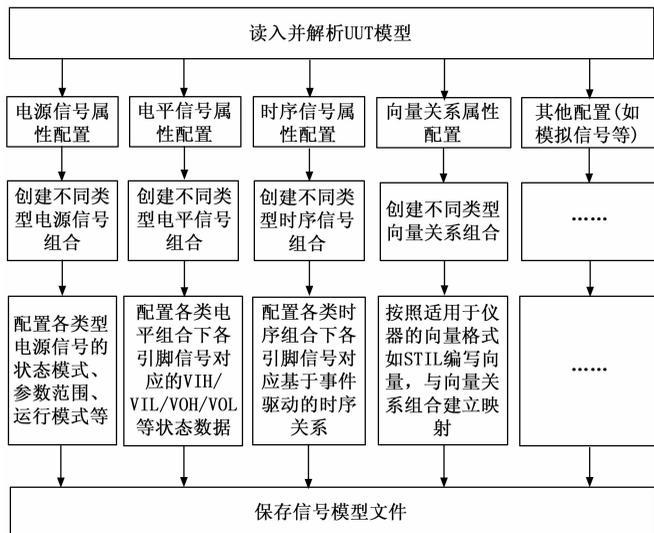


图 6 信号模型建模流程图

以存储器为例的测试项目模型建模流程图如图 7 所示。

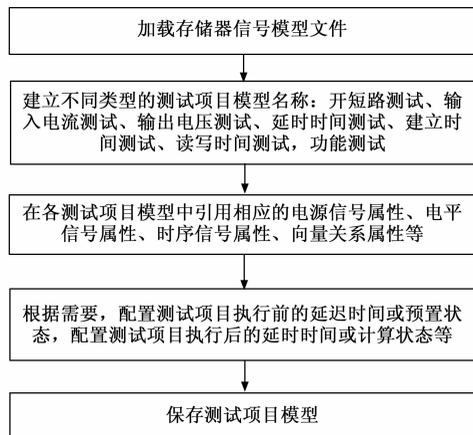


图 7 测试项目模型建模流程图

2.7 测试流程模型设计

测试流程模型,基于测试项目模型文件,首先解析出测试模型,其次按照测试需求,设置各测试项目的执行顺序,并设置各个测试项目执行失败或通过下的跳转目标,设置测试流程模型的整体执行开始与结束的动作以及中断的标志。配置完毕后,可根据模型文件格式保存模型。

以某型存储器的测试流程模型为例。基于测试项目模型文件,首先解析出测试模型,其次按照测试需求,设置各测试项目的执行模式等。以存储器为例的测试流程模型建模流程图如图 8 所示。

3 测试系统集成与校准方案

硬件平台接口主要包含测试对接锁紧装置和电气信号接口。测试对接锁紧装置用来锁紧 DIB(测试接口板),达到 DIB 与测试头内部 Pogo Pin(弹性连接针)连接的目的。DIB 结构用来加强和支撑 DIB 电路板、并实现锁紧对接的辅助结构。通过硬件平台接口,实现测试头硬件资源通道

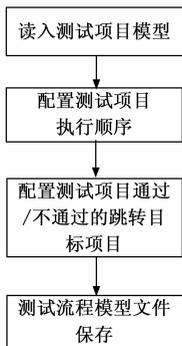


图 8 测试流程模型建模流程图

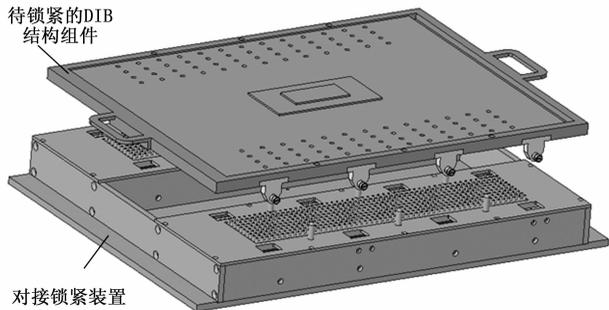


图 11 DIB 结构和对接锁紧装置安装示意图

与测试接口板的资源对接。硬件平台接口组成如图 9 所示。



图 9 硬件接口组成框图

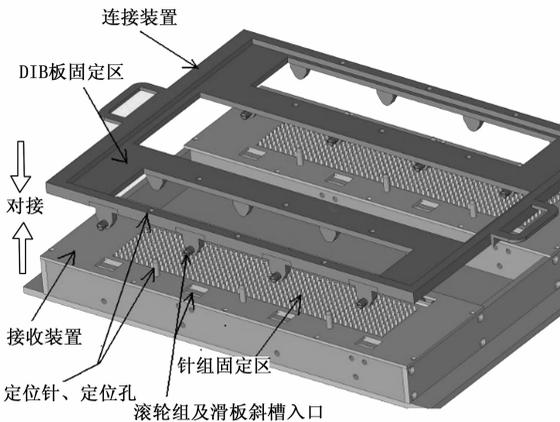


图 12 DIB 结构和对接锁紧装置安装示意图

测试头硬件平台接口安装使用示意图如图 10 所示。

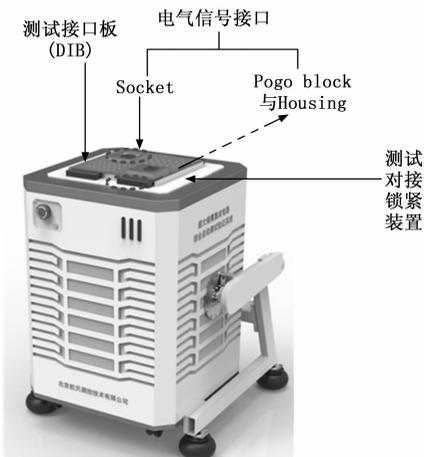


图 10 对接装置示意图

杆, 利用支点反方向拉动连杆 A, 连杆 A 带动 A 组滑板向轴侧运动, 通过连杆 B 及转臂将轴推转, 轴带动 B 组滑板同步运动, 从而实现所有滑动板同步运动^[15-18]。对接锁紧装置内部机构如图 13 所示。

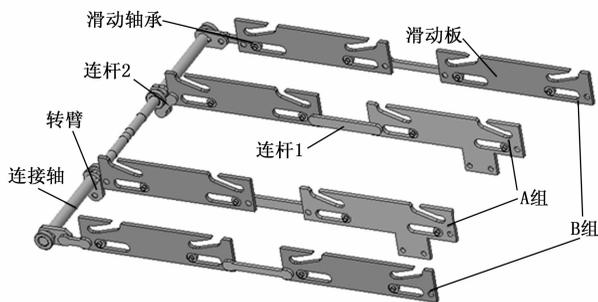


图 13 对接锁紧装置内部机构爆炸图

3.1 测试对接锁紧装置

测试对接锁紧装置包含对接锁紧结构及动力装置等。DIB 结构和对接锁紧装置安装示意图如图 11 所示。

其工作过程如下: 将 DIB 结构上的滚轮组放入滑动板斜槽入口中, 定位针及定位孔保证 DIB 结构放入的位置精度, 所有滑动板同步水平运动, 将 DIB 电路板滚轮垂直压入, 实现 DIB 电路板的锁紧。DIB 结构和对接锁紧装置安装示意图如图 12 所示。

测试对接锁紧装置的所有滑板必须同步运动, 以实现 DIB 电路板的垂直、平稳、完全压入。为保障对接的同步性, 机构采用 4 组平面连杆, 包括组 A 和组 B 各一对, 通过轴实现同步运动。运动过程是: 动力源水平直线推动杠

3.2 Pogo Block 设计方案

电气信号接口包含 Pogo Block (弹性连接器)、测试线缆等, 核心为 Pogo Block。Pogo Block 主要由上盖板、下盖板、本体、PCB 四件部件构成。上盖板、下盖板采用工程塑料, 起到 Pogo Pin 导向和压合作用。本体为全金属材料, Pogo Pin 与本体在结构上是同轴探针结构。通孔四周由空气绝缘, 达到 50 欧姆的阻抗匹配要求。PCB 通过螺丝与 block 锁住。

Pogo Pin 应用于集成电路测试时测试信号输出与测试 DIB 之间的精密连接, 具有很强的稳定性和耐久性^[19-20]。Pogo Pin 主要以弹簧针接触体为核心, 可传输高速数字信号、模拟信号、直流电源等多类型信号。Pogo Pin 主要由针头、外管、弹簧三大基本部件构成。

Pogo Block 设计示意图如图 14 所示。

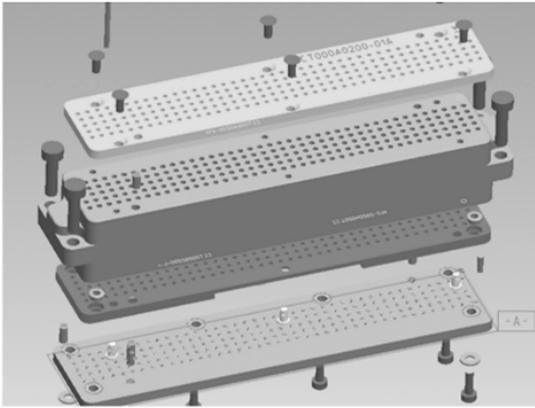


图 14 Pogo Block 设计示意图

Pogo Block 安装结构命名为 Housing (安装外框/支架)。Pogo Block 上加工导向筋等类似结构, 与 Housing 上的导向槽相配合, 保证所有仪表的 Pogo Pin 的高度保持一致; Pogo Block 安装在 Housing 上后, Pogo Pin 垂直于 Housing 水平面, 确保在对接过程中无水平方向位移。Pogo Block 与 Housing 安装示意图如图 15 所示。

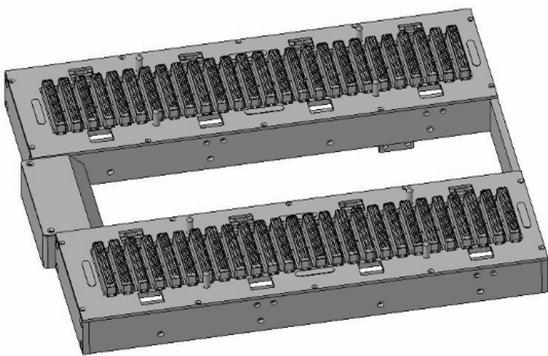


图 15 Pogo Block 的 housing 示意图

4 指标测试与分析

4.1 软件接口测试与分析

采用 74 系列计数器 74HCT163, 开展软件接口测试。在模型格式文件的约束下, 建立 74HCT163 的 UUT 模型, 并基于所研制的 DIB, 建立连接关系模型。基于 UUT 模型和连接关系模型, 依次完成电源、电平信号模型、时序关系模型和测试向量, 将模型进行组合后, 进一步生成测试项目模型, 按照不同的测试场景, 组合为测试流程, 采用 XML 格式保存。其建模过程如图 16 所示。

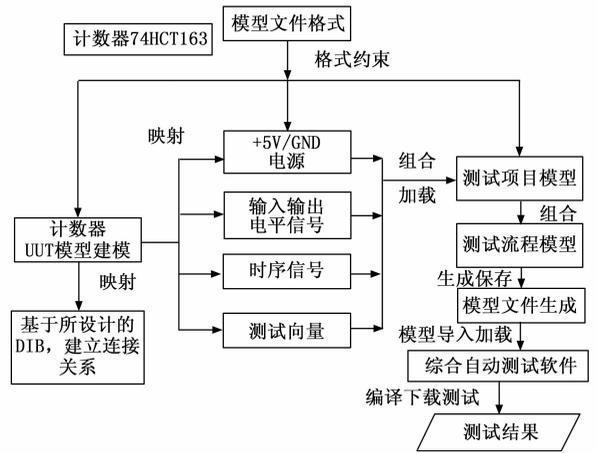


图 16 测试模型建模与验证过程示意图

为验证接口, 在综合自动测试软件中导入该 XML 文件, 所生成的测试程序中的功能测试流程项目截图如图 17 所示。

Test	Power	Level	Timing	Pattern	Compare	IC	TR	Aclog	Trigger	Parameter	File Code	Function
D11_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg	TEST1
D12_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg2	TEST1
D13_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg3	TEST1
D14_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg4	TEST1
D15_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg5	TEST1
D16_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg6	TEST1
D17_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg7	TEST1
D18_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg8	TEST1
D19_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg9	TEST1
D20_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg10	TEST1
D21_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg11	TEST1
D22_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg12	TEST1
D23_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg13	TEST1
D24_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg14	TEST1
D25_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg15	TEST1
D26_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg16	TEST1
D27_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg17	TEST1
D28_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg18	TEST1
D29_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg19	TEST1
D30_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg20	TEST1
D31_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg21	TEST1
D32_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg22	TEST1
D33_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg23	TEST1
D34_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg24	TEST1
D35_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg25	TEST1
D36_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg26	TEST1
D37_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg27	TEST1
D38_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg28	TEST1
D39_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg29	TEST1
D40_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg30	TEST1
D41_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg31	TEST1
D42_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg32	TEST1
D43_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg33	TEST1
D44_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg34	TEST1
D45_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg35	TEST1
D46_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg36	TEST1
D47_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg37	TEST1
D48_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg38	TEST1
D49_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg39	TEST1
D50_Test	Power	Power_Level				IC1					TestEqg40	TEST1

图 17 模型导入解析后生成的功能测试流程

对所生成测试程序, 通过编译下载, 即可加载到测试运行界面。各测试项目、部分 DC 参数的运行结果如图 18 所示。

序号	名称	功能配置
1	BEGIN	Function_Test
2	FunctionTest	Function_Test
3	ILTest	IL_Test
4	IRTest	IR_Test
5	Vol_PP3A2	Vol_PP3A2
6	Vol_PP3A2	Vol_PP3A2
7	Vol_Linear	Vol_Search_L
8	Vol_Linear	Vol_Search_L
9	TC_IPD	TC_IPD
10	Q_IPD	Q_IPD
11		

信号名称	Vth	Vth_Vol	Vth_Vth	Vth_Vth	Clamp	Clamp
MRU	3.800m	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
CP	3.800m	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
CEP	3.800m	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
PEU	3.800m	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
CET	3.800m	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
D3	3.0	800m	0.0	0.0	1.5	0.0
D2	3.0	800m	0.0	0.0	1.5	0.0
D1	3.0	800m	0.0	0.0	1.5	0.0
D0	3.0	800m	0.0	0.0	1.5	0.0
TC	0.0	0.0	2.0	0.8	1.5	5.5
Q3	0.0	0.0	2.0	0.8	1.5	5.5
Q2	0.0	0.0	2.0	0.8	1.5	5.5
Q1	0.0	0.0	2.0	0.8	1.5	5.5
Q0	0.0	0.0	2.0	0.8	1.5	5.5

DCBlock	信号名称	实际值	下限	上限	结果
MRU	352.890848mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
CP	375.5850205mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
DO	373.6328155mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
D1	377.5390966mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
D2	385.6024946mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
D3	388.5253939mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
CEP	379.24893205mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
PEU	363.623058mA	1.00uA	1uA	1uA	通过
CET	387.0005388mA	1.00uA	1uA	1uA	通过

图 18 测试流程执行结果 (部分 DC 参数)

通过查看测试流程的执行结果, 该芯片的连接性测试、DC 参数测试 (输入电流、输出高电压、输出低电压等)、AC 参数测试 (延迟时间等) 均能通过测试, 满足器件要求。

通过 1) 导入 XML 文件生成测试流程、2) 对测试流程的编译下载和执行、3) 实际查看对比分析测试流程执行结果等三步操作, 验证了软件接口符合预期设计要求, 具有较好的可移植性和兼容性。

4.2 硬件接口测试与分析

首先进行 Pogo Block 结构安装一致性测试。基于高精度图像尺寸测量仪, 将所需要的测试尺寸参数、基准测量点坐标输入到测试软件中, 在保证良好接地的情况下, 测试 Pogo Block 各个行列中各个的 Pogo Pin 与基准点的距离。部分测试数据如表 1 所示。

表 1 Pogo Block 部分结构尺寸测试数据 mm

列	标准值	实测值	偏差值	行	标准值	实测值	偏差值
A	3.42	3.458 9	0.038 9	1	10.8	10.814	0.014 0
	3.42	3.397 8	-0.022 2		10.8	10.78	0.0020 0
	3.42	3.431 1	0.011 1		10.8	10.775 3	0.024 7
	3.42	3.401 8	-0.018 2		10.8	10.797 2	0.002 8
	3.42	3.450 5	0.030 5	6	10.8	10.828 3	0.028 3
	3.42	3.449 2	0.029 2		-1.9	-1.888 5	-0.011 5
	3.42	3.448 4	0.028 4		-1.9	-1.868 8	-0.031 2
	3.42	3.443 1	0.023 1		-1.9	-1.890 4	-0.009 6
	3.42	3.438	0.018 0	11	-1.9	-1.891 3	-0.008 7
	3.42	3.436 9	0.016 9		-1.9	-1.900 2	-0.000 2
	3.42	3.409 2	-0.010 8		-14.6	-14.554 1	-0.045 9
	3.42	3.454 0	0.034 0		-14.6	-14.588 4	-0.011 6
3.42	3.449 0	0.029 0	16	-14.6	-14.564 2	-0.035 8	
3.42	3.450 3	0.030 3		-14.6	-14.553 6	-0.046 4	
3.42	3.460 5	0.040 5		-14.6	-14.589 5	-0.010 5	
3.42	3.422 9	0.002 9		-27.3	-27.290 3	-0.009 7	
3.42	3.449 2	0.029 2	21	-27.3	-27.296 4	-0.003 6	
3.42	3.449 1	0.029 1		-27.3	-27.250 8	-0.049 2	
3.42	3.441 1	0.021 1		-27.3	-27.284 7	-0.015 3	
3.42	3.444 7	0.024 7		-27.3	-27.287	-0.013 0	
3.42	3.432 1	0.012 1	26	-40	-39.982 6	-0.017 4	
3.42	3.440 8	0.020 8		-40	-39.987 8	-0.012 2	
3.42	3.456 3	0.036 3		-40	-40.1	-0.010 0	
3.42	3.477 6	0.057 6		-40	-39.990 9	-0.009 1	
3.42	3.479 9	0.059 9	30	-40	-39.980 9	-0.019 1	
3.42	3.418 7	-0.001 3		-52.7	-52.700 1	0.000 1	
3.42	3.445 8	0.025 8		-52.7	-52.662 9	-0.037 1	
3.42	3.458	0.038 0		-52.7	-52.657 8	-0.042 2	
3.42	3.452 3	0.032 3	30	-52.7	-52.689 4	-0.010 6	
3.42	3.464 6	0.044 6		-52.7	-52.694 1	-0.005 9	
3.42	3.464 4	0.044 4		-62.86	-62.832	-0.028 0	
3.42	3.429 9	0.009 9		-62.86	-62.829 1	-0.030 9	
3.42	3.469 7	0.049 7	30	-62.86	-62.839 7	-0.020 3	
3.42	3.463 3	0.043 3		-62.86	-62.834 7	-0.025 3	
3.42	3.442	0.022 0	30	-62.86	-62.834 1	-0.016 9	

经测试, 距离偏差数据均小于 0.1 mm, 满足设计要求和实际使用要求。

其次开展电气参数测试。主要使用矢量网络分析仪, 基于专门设计的信号测试板, 测试 Pogo Block 性能是否满足测试信号的需要。测试时通过信号线连接测试, 主要测试网络信号的 S11, S21 参数。部分测试数据如表 2 所示。

表 2 部分 Pogo Block 电气特性测试数据

测试频点	S11	S21
100 MHz	-25.473 dB	-1.440 9 dB
400 MHz	-26.614 dB	-2.521 0 dB
800 MHz	-24.356 dB	-3.786 7 dB
1 GHz	-25.555 dB	-4.110 5 dB
2 GHz	-18.828 dB	-6.609 3 dB
3 GHz	-23.885 dB	-8.875 8 dB
4 GHz	-15.440 dB	-11.832 1 dB
5 GHz	-17.212 dB	-14.259 8 dB
6 GHz	-18.360 dB	-15.967 dB

分析测试数据表明, S11 为 -23.885 dB @3 GHz, S21 为 -8.875 8 dB @3 GHz, 均满足设计要求, 满足最高 1.6 Gbps 数字信号等的传递要求。

5 结束语

本文主要介绍了国产超大规模集成电路综合自动测试系统软硬件平台的测试接口。其中软件平台接口主要采用基于模型的方法, 构建可导入、具备一定通用性的测试模型, 主要针对当前随着被测对象的规模越来越庞大、测试程序之间不能互相移植问题, 并采用存储器、计数器等芯片对测试模型建模过程进行了说明和验证。硬件平台接口主要实现装有被测集成电路芯片的测试接口板与测试头的连接, 满足测试仪器与测试对象之间的信号传递关系, 采用测试对接锁紧装置实现测试接口板的安装锁紧, 采用 Pogo Block 实现电气信号传递, 通过测试, 作为硬件平台接口核心的 Pogo Block 的连接器引脚的偏差小于 0.1 mm, 电气特征可满足最高 1.6 Gbps 高速数字信号等的传递要求。未来进一步工程化设计后, 本系统将可广泛应用在集成电路的设计验证、量产测试和筛选测试等环节, 满足国产集成电路测试需要。

参考文献:

[1] 李丹. 中国集成电路测试设备市场概况及预测 [J]. 电子产品世界, 2019 (10): 4-7.

[2] 罗宏伟, 刘竞升, 余永涛, 等. 超大规模集成电路测试现状及关键技术 [J]. 电子产品环境可靠性与试验, 2021, 39 (2): 16-20.

[3] 郑永丰, 张贵恒, 董阳, 等. 国产芯片自动测试系统射频测试模块设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (10): 41-49.

[4] 罗斌. 基于 ATE 的高端图像传感器芯片测试技术 [J]. 集成电路应用, 2019 (8): 66-68.

[5] 唐丽, 邹映涛, 唐昱, 等. 基于 V93000ATE 的随机数采集检测方法 [J]. 电子测试, 2019 (24): 32-34.

(下转第 41 页)