

我国集成电路测试技术现状及发展策略

俞建峰¹, 陈翔², 杨雪瑛²

(1.江苏出入境检验检疫局机电产品检测中心,江苏 无锡 214101;2.无锡质量技术服务公司技术部,江苏 无锡 214101)

摘要:集成电路在现代电子整机中的应用比重已超过 25%,测试是分析集成电路缺陷的最好工具,通过测试可以提高集成电路的成品率。通过分析我国集成电路产业现状,论述我国集成电路的设计验证测试、晶圆测试、芯片测试、封装测试等关键测试环节的技术水平,提出进一步发展我国集成电路测试产业的相关建议。

关键词:集成电路;设计验证;晶圆测试;芯片测试;封装测试;发展策略

中图分类号:TN47;TN407

文献标识码:A

文章编号:1674-5124(2009)03-0001-05

Current status on chinese integrated circuit testing technology and its development strategies

YU Jian-feng¹, CHEN Xiang², YANG Xue-ying²

(1.Mechanical and Electrical Testing Center, Jiangsu Entry-Exit Quarantine & Inspection Bureau, Wuxi 214101, China;

2.Technology Department, Wuxi Quality Technology Service Company, Wuxi 214101, China)

Abstract: At present, integrated circuits have occupied 25% of the whole electrical and electric equipments. And testing technologies are the best tools for analyzing the defections of the integrated circuits. In this article, the current status on Chinese integrated circuit industry was analyzed. And the key testing technologies including the design verification, wafer testing, chip testing, package testing were also presented. At last, strategies for developing testing technologies for Chinese integrated circuits were proposed.

Key words: Integrated circuit; Design verification; Wafer testing; Chip testing; Package testing; Development strategies

1 引言

微电子技术几十年来一直遵循摩尔定律,即集成度每 18 个月翻一番,30 年内尺寸减小 1 000 倍,性能提高 1 万倍。当前,发达国家的 IC 产业已经高度专业化,形成设计业、制造业、封装业、测试业独立并举、相互支持、共同发展的局面。其中集成电路测试作为设计、制造和封装的有力补充,推动了集成电路产业的迅速发展。

在经济长期持续发展的新形势下,我国集成电路产业已经成为全球半导体产业关注的焦点,凭借巨大的市场需求、较低的生产成本、丰富的人力资源,以及稳定的经济发展和优越的政策扶持等众多优势条件,近几年中国集成电路产业取得了飞速发展。由集成电路产业带动下的计算机、通信、消费类电子、数字化 3C 技术的融合发展以及计算机国际

互联网的广泛应用孕育了大量的新兴产业。同时,与此相配套的集成电路测试服务业也有了较大的发展,国内封装测试板块涌现出了一批专业芯片测试企业,成为我国 IC 产业的持续、快速发展不可缺少的重要环节和不断注入的新活力。

目前,我国已成为全球第二大集成电路市场,但国内市场自给率不到 25%,尤其在代表 IC 水平的计算机中央处理器方面,国内的技术差距就更大。目前微电子技术进入纳米尺寸和 SoC 时代,CPU 时钟进入 GHz,在向高端集成电路产业发展方面,我国仍需奋起直追,缩小与发达国家的差距。特别是集成电路测试技术一直是我国集成电路产业发展的薄弱环节,进一步加强集成电路测试能力势在必行。在充分调研无锡地区的集成电路产业状况的基础上,结合我国集成电路行业测试技术现状,提出发展我国集成电路测试产业的建议。

2 我国集成电路产业高速、持续发展

集成电路的开发、生产是当今世界的尖端高科技产业,他在现代电子整机中的应用比重已超过

收稿日期:2008-11-27;收到修改稿日期:2009-02-16

基金项目:国家质量监督检验检疫总局科技项目(2008IK078)

作者简介:俞建峰(1974-),男,江苏宜兴市人,工程师,博士,主要从事机电测试等研究。

25%,是现代信息产业和信息社会的基础,已成为改造和拉动传统产业迈向数字时代的强大引擎和雄厚基石。现代经济发展的数据表明,每1元~2元的集成电路产值,带动了10元左右电子工业产值的形成,进而带动了100元GDP的增长^[1]。目前,发达国家国民经济总产值增长部分的65%与集成电路相关;预计未来10年内,世界集成电路销售额将以年平均15%的速度增长,2010年将达到6000亿美元~8000亿美元。作为当今世界经济竞争的焦点,拥有自主知识产权的集成电路已日益成为经济发展的命脉、社会进步的基础、国际竞争的筹码和国家安全的保障。

在国内外半导体市场加速增长的带动下,我国集成电路生产规模从20世纪90年代初的10亿元,到2000年突破百亿元,实现了跨越式的发展^[2]。2006年国内集成电路总产量达到355.6亿块,产值为807亿元人民币,销售总额达1006.3亿元,其在全球集成电路产业中所占份额也由2000年的1.2%提高到4.5%,集成电路产量和销售收入的年均增长速度超过30%,步入了高速增长的轨道。目前我国集成电路产业已初步形成了设计业、芯片制造业及封装测试业三业并举、比较协调的发展格局,出现长江三角洲、京津地区和珠江三角洲三个相对集中的产业区。国家科技部批准设立七个国家级集成电路设计产业化基地,包括上海、北京、深圳、杭州、无锡、西安、成都。这些产业化基地以设计为龙头,形成制造、封装测试的产业链,并以信息安全、网络通讯、消费类电子产品为主导领域,开发微处理器、数据处理芯片及高档家电类数码音频、视频技术等产品。

2006年,我国已有近50家晶圆制造厂,112家IC封测和IC装配厂,450家IC设计公司^[3]。从2006年的

统计数字来分析,在全国807亿元半导体业产值中封测350亿元,占50%以上;晶圆制造242亿元,占30%;IC设计215亿元,占不到20%。在国际市场也有一定的份额,2006年销售总额达1006.3亿元,占全球销售总额的4.5%。在3G网络通信、数字家庭和平板电视等领域的带动下,中国集成电路市场将保持快速增长。预计2007年~2011年这5年间,中国内地集成电路产业销售收入的年均复合增长率将达到27.5%,测试封装产值仍将是整个半导体产值的最大组成部分。根据信息产业部规划,到2030年,我国半导体行业销售规模将达到3000亿元,占有世界市场份额8%,中国将成为世界重要的集成电路制造基地之一。如表1所列。

无锡集成电路产业在全国具有举足轻重的地位,国家集成电路设计无锡产业化基地是国家科技部批准设立的七个国家级集成电路设计产业化基地之一。无锡集成电路产业以设计为龙头,以信息安全、网络通讯、消费类电子产品为主导领域,开发微处理器、数据处理芯片及高档家电类数码音频、视频技术等产品,带动了无锡工业经济的发展。根据国家信息产业部公布第三批通过认定的集成电路设计企业名单,无锡市通过认定的设计企业总数增加到14家,占江苏省总数的56%。以海力士、华润矽科微电子、华晶微电子、长电科技等半导体企业为主导的半导体产业发展势头良好,初步形成了包括IC研发设计、芯片制造、封装测试等在内的较为完整的产业链,并拥有无锡中微腾芯电子有限公司、无锡泰思特测试有限责任公司等集成电路测试专业公司等诸多产业优势。

国家“十一五”规划和相关的科技规划都把发展集成电路产业作为重点,国务院印发了《鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》,包括建

表1 中国集成电路产业今后20年的发展构架^[4]

序号	名称	单位	2000年	2010年	2020年	20年的年平均增长率和到2020年时的相关比例
1	国内生产总值	亿元	89400	183000	358000	年平均增长率为7.18%
2	第二产业在国内生产总值构成中的比例	%	51	48	40	逐步降低,后期比前期下降快,今后20年共下降11个百分点
3	全世界集成电路市场销售额	亿美元	1560	4100	8900	年平均增长率为9.1%
4	国内电子工业销售额	亿元	9889	29000	56700	年平均增长率为9.1%;与国内生产总值之比为16%;与第二产业总值之比为40%
5	国内集成电路销售额	亿元	186	2900	11000	年平均增长率为23%;与国内生产总值之比为3.2%;与电子工业销售额之比为20%;占全世界集成电路销售额的15%
6	国内集成电路产业需投资额累计	亿元	0	3400	25000	按每年为国内集成电路销售额的25%~30%匡算
7	国内集成电路需求额	亿元	1060	5300	11000	年平均增长率为13%;与(电子工业销售额-集成电路销售额)之比为25%
8	我国集成电路产品进出口逆差累计额	亿美元	0	2500	3800	到2020年的累计额中包含了2010年的累计额

立风险投资基金、加大政策性银行支持、优先支持上市融资等等。随着我国国民经济、国防建设、人民生活和信息安全事业发展的需要,集成电路产业会有更大的发展,成为最具基础性、最有生命力、最可持续发展的国家关键性产业。在国家优先发展政策框架下,无锡市“十一五”期间集成电路产业和全国一样,也将有长足的发展,预计 IC 产业销售收入年均增幅 40%以上,到 2010 年达到 400 亿元,占全国总量的 15%左右,占江苏省总量超过 60%,IC 产业已发展成为支撑全市电子信息产业的支柱,无锡以打造为集 IC 研究开发、产业化、商品化于一体的国家级 IC 基地为目标,努力建成名符其实的“太湖硅谷”,前景十分喜人。

3 检测——集成电路产业的发展关键

全球半导体业发展到今天,集成电路测试业贯穿在集成电路设计、芯片制造、封装及集成电路应用的全过程。其测试的对象为:数字 IC、模拟 IC、低频、射频,以及数模混合信号电路。测试内容可以归纳为两大类:功能测试与参数测试。测试的主要目的是保证器件在恶劣的环境条件下能完全实现设计规格书所规定的功能及性能指标。

根据集成电路制造过程(如图 1 所示)和 IC 设计过程中对测试的需求,集成电路测试服务业分为 4 个部分:

(1)设计验证测试。主要通过特征分析,保证设计的正确性,确认器件的性能参数。SoC 验证研究领域在验证技术、验证流程及验证评估等方面取得了一定程度的进步,但总体而言验证技术仍然落后于设计和制造能力。当前 SoC 业界广泛使用的验证技术主要有动态验证技术、静态验证技术和 FPGA 验证技术。

(2)晶圆测试。运用自动测试探针台等设备完成晶圆测试操作。

(3)封装测试。包括功能测试、直流参数测试、交流参数测试等。

(4)可靠性测试。保证器件能在规定的年限之内正确工作。

测试既是集成电路产业链中的一环,也是验证

出厂的关键。早期的测试只是作为 IC 生产中的一个工序存在,被合并在制造业或封装业中。随着集成电路产业分工日益明晰和人们对集成电路品质的重视,再加上技术、成本和知识产权保护等诸多因素,集成电路测试业目前正成为集成电路产业中一个不可或缺的、专业化的独立行业,作为设计、制造和封装的有力技术支撑,推动了集成电路产业的迅速发展。

集成电路测试的能力和水平是保证集成电路性能、质量的关键手段之一,也是集成电路测试产业的重要标志,因此受到很多国家的高度重视。美国 1997 年以来的 NTRS(美国国家半导体技术发展路线图)不仅强调了集成电路测试在微电子发展中的关键性地位,而且将集成电路测试列为未来半导体发展面临的 6 大严峻挑战之一,测试业的生存与发展与集成电路产业有着共同的命运。

首先,集成电路工艺的不断演进和设计技术的革新,使得集成电路测试技术处于一个不断发展的新起点,必须一直面临着两个方面的挑战:制造工艺发展所带来的测试质量提升的挑战和设计规模不断发展所带来的测试成本的挑战。制造工艺发展所带来的挑战包含新的故障模型、新的测试向量生成方法和新的可靠性保障等方面。而设计规模不断发展所带来的测试成本的挑战包含不断延长的测试时间、不断增长的海量测试数据以及对新型测试设备的要求。

其次,随着 IC 芯片的日益复杂和性能的不断提高,芯片的测试速度和引脚数都不断攀升,对测试的要求也向着高速的数模混合测试方向发展。特别是 IC 工作频率、封装密度的提高及 SoC、ASIC 高性能芯片的大量涌现,对高速、高密度、低功耗、高性价比测试系统的需求会不断提高,对被测芯片与测试仪的可靠性连接技术提出了新的挑战。

再次,随着 IC 测试设备的测试能力的大幅提高,测试的速度越来越快(测试速度大于 500 MHz),测试精度越来越高,测试设备与被测芯片的可靠性连接也越来越显得重要。

4 我国集成电路测试技术能力现状

当前,国际上集成电路检测的能力和水平进入了高速发展时期,高水平的集成电路测试系统主要集中在集成电路生产大国美国和日本。美国有 HP 公司、TERADYNE 公司、SCHLUMBEGE 公司、CREDENCE 公司、IMS 公司、LTX 公司,日本有

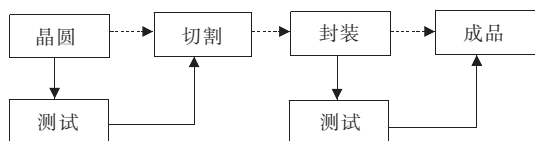


图 1 集成电路制造过程

ADVANTEST 公司、安腾等著名公司。目前台湾地区半导体设计公司有 115 家,制造公司有 20 家,封装公司有 36 家。台湾半导体测试业在 1995 年前都是附属于制造业或封装业,随着集成电路产业的发展,出现了集成电路测试业,目前测试公司达到 30 家之多。

我国集成电路测试技术和系统的研发始于 20 世纪 70 年代初。经过 30 多年的发展,我国集成电路测试产业从无到有、从小到大,由硬件开发、软件开发到系统集成,由仿制到独立自主开发,目前已形成了一个由专业研究所、测试集团公司为主,遍布于重点院校、中央和地方科研机构的广大测试群体。我国拥有 50 MHz 测试验证系统平台、100 MHz 通用测试系统平台、集成电路验证测试服务平台,已比较全面地满足数字 IC 测试、模拟 IC 测试、数模混合信号测试、可靠性测试、成品自动分选、芯片探针测试的需求。无锡泰思特测试有限公司、无锡中微腾芯电子有限公司、广州集成电路测试中心、上海华岭集成电路技术有限责任公司、北京华大泰思特半导体检测技术有限公司、香港科技园等专业 IC 测试服务公司已经具有一定的知名度,成为行业的佼佼者。随着我国集成电路产业的飞速发展,检测技术和服务在产业链中的作用将越来越大,对公共测试的需求越来越大,国内封装测试板块涌现出了一批专业芯片测试企业。集成电路测试作为设计、制造和封装的有力补充,推动了产业的迅速发展。

然而,随着 IC 芯片的技术要求和性能的不断提高,对芯片测试的要求也不断攀升。对于刚刚提速的国内半导体业来说,其测试能力相对 IC 设计、制造、封装,这却是最薄弱的一环。特别是产品进入高性能 CPU、DSP 时代以后,高性能 CPU、DSP 产品每年都以 50% 以上,远高于其他 IC 产品的速度发展。与迅速发展的设计业相比,我国测试业的发展相对滞后,不仅落后于发达国家,也跟不上我国集成电路产业发展的需要,在一定程度上制约了我国集成电路产业的发展,目前能够独立承担专业测试服务的公司不多,不能满足众多 IC 设计公司的验证分析和产业化测试需求,已日益成为我国集成电路产业发展的一个瓶颈。虽然许多外资企业在国内设有测试机构,但大多不提供对外测试服务,即使提供,也很少为小批量的高端产品提供测试开发、验证及生产测试。例如无锡海力士-意法半导体公司在晶圆测试设备已经投入 1 亿美金,但是其

设备是为自身企业服务,并不对外开放。对于高端集成电路产品,主要还是送到国外去测试,国内的测试能力远远满足不了市场的需求。而且 IC 的发展,不但对测试设备提出了新的要求,也需要高素质的测试技术人员。硬件、软件的有机结合,管理制度的完善,才能有效地保证 IC 的测试质量,从而保证整机系统的可靠性。为此,加快独立的、第三方的专业化集成电路测试公司的建设,面向社会开展芯片测试工作,可大大缩短测试时间,提高测试效率,从而达到降低企业测试成本,解决国内测试能力存在的问题,将有效促进集成电路设计、制造能力的提升,加速整个集成电路产业的发展。

5 集成电路测试的发展策略

随着集成电路产业分工越来越细,IC 设计公司的不断发展壮大,建立具有公信力的第三方中立测试机构,提供专业化的测试服务,是市场发展的必然趋势和紧迫要求。无锡市政府高度重视集成电路产业的协调发展问题,采取了多种措施解决设计、制造、封装和检测能力的配置,是无锡集成电路产业能走在全国前列的一个重要原因。为此,围绕国家集成电路产业“十一五”规划的目标,科学地研究、规划集成电路测试业的发展策略,作为设计、制造和封装的有力技术支撑,必将推动集成电路产业的迅速发展。下面提出进一步推进我国集成电路测试产业发展的建议:

5.1 发展低成本测试技术

目前国内高端 IC 产品所占的比例还不是很,主要以低档、民用消费类产品为主,如 MP3 IC、音视频处理 IC、4~16 位 MCU、数模混合 IC、电源管理 IC 和功率 IC 等,其芯片本身的售价不高,因此无力承担过于昂贵的测试费用,低成本的测试是适合企业需求的。这就决定了所用的 IC 测试设备档次还不是那么高,因此测试系统的选择也应以经济实惠、技术指标合适的机型为主。以无锡集成电路产业为例,芯片以中、低端消费类产品为主:钟表、收音机、电视机,达到 CPU 级的很少。无锡集成电路设计能力以 0.35 μm 以上为主,属于中低端产品,主要是为消费类电子产品。

英特尔公司预测未来几年,每一晶体管的硅投资成本将低于其测试成本。硅成本已迅速下降,测试成本却基本保持不变,而且被测芯片的速度常常高于测试设备能够测的速度。这表明,测试设备的发展速度已跟不上测试对象的发展,测试成本在制

造成本中所占比例过大。全美电子制造首创公司在半导体工业发展蓝图上,提出在今后 10 年中将测试成本降低 90%。因此发展低成本的芯片测试技术是世界范围内的趋势,同时更是我国集成电路测试业的根本要求。

5.2 研发高端测试技术

随着半导体工艺技术的发展,SoC (系统级芯片)产品在 IC 产品中所占比重越来越大,产值也越占越多。而 SoC 产业化之前必须通过测试,因此 SoC 市场的飞速发展给 SoC 测试带来很大的市场需求。进入系统级芯片(SoC)时代以后,独立的测试业将面临巨大机遇和挑战。系统级芯片(SoC)测试是一个费时间的过程,需要生成数千测试图形和矢量,还要达到足够高的故障覆盖率。随着越来越多的核,无论是存储器、逻辑电路、锁相环即射频 IC 核都集成到系统级芯片中。目前,制造商几乎找不到一种满意的自动测试设备来测试系统芯片。现有的测试设备还不能测试像锁相环等模拟/混全信号器件^[5-6]。

随着半导体工艺的飞速发展,系统芯片(SoC)逐渐成为集成电路设计的主流发展趋势。为了适应 IC 设计的发展趋势,针对高端的系统芯片测试技术也应该进行适当的储备,集成电路高端测试技术的研究必须走在 IC 设计技术的前面^[7]。

5.3 开展对外合作,引进先进测试能力

集成电路测试是投入大、技术复杂、对技术人员要求高的行业。因此应该在运行机制和业务模式上积极探索,依靠企业和各类社会资源,通过市场化运作,实现良性循环和可持续发展。我国可引进国内外专业机构前来设立相关的公司,政府可在场地租用、企业使用服务和设备租赁上给予支持。也可选择合适的合作伙伴,采用对外合作的方式,引进国外资金、技术和管理经验,妥善解决设备选型、技术人才的问题,为集成电路产业的健康发展打造完整产业链,形成集成电路产业发展的集群效应。

5.4 政府扶持,建立社会公共检测平台

集成电路产业是国家的支柱产业之一,政府在引导产业、培育产业、支持产业的过程中起着极其重要的作用。政府在发展集成电路产业方面进一步提高服务功能。通过加强在公共测试服务平台的建设,开展各种测试、失效分析、可靠性评估、测试程序的研发、测试技术研究交流、测试系统研发以及测试人员的技术培训等项目,提供更优质、更高端的服务^[8]。同时,要高瞻远瞩地做好高端集成电路测试技术的储备,以适应集成电路的不断升级。

6 结束语

我国已经成为第二大集成电路生产国家,但是集成电路的测试技术还相对落后,缺乏高水平的集成电路测试装备的设计能力。集成电路测试是促进集成电路产业发展必不可少的环节。一方面集成电路企业必须加强测试技术的消化、吸收和创新,另一方面政府必须发挥导向性作用,建立为集成电路设计中小企业服务的政府检测平台。

参考文献

- [1] 程家瑜,王 革,龚钟明,等.未来 10 年我国可能实现产业跨越式发展的重大核心技术 [J]. 中国科技论坛, 2004(2): 9-12.
- [2] 刘 明,米 丹,喻德顺,等.CMOS 集成电路设计技术研究[J].微处理机,2004,25(4):1-2.
- [3] 范海鹏,王志功,周建冲.RFIC 芯片的测试与设计验证[J].现代电子技术,2006,29(24):154-156.
- [4] Leslie B, Matta F. Wafer-level testing with a membrane probe[J]. IEEE Design and Test of computers, 1989(2): 10-16.
- [5] 杜社会,阳 辉,方葛丰,等.大规模集成电路相关测试标准的剖析[J].半导体技术,2007,32(9):37-740.
- [6] 王 恒,吴媛媛.集成电路在线功能测试技术研究[J].舰船电子工程,2007(3):206-207.
- [7] 谢永乐,李西峰.模拟集成电路参数型故障定位方法[J].半导体学报,2008,29(3):599-602.
- [8] 江清明,何小琦,杨春晖,等.集成电路可靠性电迁移技术[J].电子质量,2006(8):30-32.