

有机封装基板标准化工作现状及发展思考

李锐¹, 曹易², 田欣¹, 薛超¹

(1. 中国电子技术标准化研究院, 北京 100007; 2. 全国印制电路标准化技术委员会 (SAC/TC47), 北京 100007)

摘要: 随着我国集成电路产业的发展, 作为集成电路封装重要零部件的一种特殊印制电路板 (PCB) ——有机封装基板呈现出高速增长的态势, 相应的标准化需求日渐显现。回顾了我国 PCB 领域标准化的方针, 分析了工作方针调整的必要性。在梳理和总结有机封装基板产业发展关键点的基础上, 提出了有机封装基板标准化工作新的发展思路, 指出了基于客户联系、产品良率控制和原材料研制等方面的标准化工作重点任务。针对其发展趋势, 聚焦嵌入式基板这个未来可能给整个有机封装基板产业链带来重组的着力点, 提出了我国在这一产业变革中未来标准化工作的思路和任务。

关键词: 封装基板; 标准化; 嵌入式基板; 印制电路板

中图分类号: TN41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1681-1070 (2024) 02-020107

DOI: 10.16257/j.cnki.1681-1070.2024.0040

中文引用格式: 李锐, 曹易, 田欣, 等. 有机封装基板标准化工作现状及发展思考[J]. 电子与封装, 2024, 24 (2): 020107.

英文引用格式: LI Kun, CAO Yi, TIAN Xin, et al. Current status and development thoughts of standardization work on organic package substrate[J]. Electronics & Packaging, 2024, 24(2): 020107.

Current Status and Development Thoughts of Standardization Work on Organic Package Substrate

LI Kun¹, CAO Yi², TIAN Xin¹, XUE Chao¹

(1. China Electronics Standardization Institute, Beijing 100007, China;

2. National Committee 47 on Printed Circuits of Standardization Administration of China, Beijing 100007, China)

Abstract: With the development of China's integrated circuit industry, organic package substrate, as a special type of printed circuit board (PCB) that serves as an important package component, has shown a rapid growth trend, and the corresponding standardization needs are increasingly apparent. Past strategies of PCB field standardization in China are reviewed, and the necessity of work strategy adjusting is analyzed. Based on the organization and summary of key points in the organic package substrate industry development, new development strategies of standardization work on organic package substrate are proposed. Key tasks of standardization based on customer contact, product yield control, and raw material research and development are pointed out. In view of the development trend, focusing on embedded substrate, which may bring restructuring to the whole organic package substrate industry chain in the future, strategies and tasks of the future standardization work in this industrial change in China are put forward.

Keywords: package substrate; standardization; embedded substrate; printed circuit board

收稿日期: 2023-10-19

E-mail: 李锐 likun@cesi.cn

0 引言

有机封装基板的标准化是当前优化印制电路板标准体系一个关键的热点问题。在面对有机封装基板这个行业高端产品子领域时,我国需要开始逐步探索一种符合行业发展规律的新的标准化工作思路,而不是简单地在体系中补充一个产品规范。我国企业在有机封装基板上的竞争,将面对一个没有成熟路径可依赖的风险型环境,而非数十年来熟悉的产业转移式发展。本文讨论了新赛道中标准化工作所承担的阶段性任务、需要制定的方针和未来开展的工作重点,为后续标准化工作提供思路。

1 我国印制电路标准化“跟随”方针的背景

全国印制电路标准化技术委员会(SAC/TC47,以下简称“标委会”)自1987年成立起,即按照国家发展阶段的实际情况,实施以“跟随”为特征的工作方针。三十多年来,我国印制电路行业快速实现了从手工作坊到产值世界第一的发展奇迹。这一发展得益于从先进国家引进的成功市场经验、经营模式以及设备技术与我国相对廉价的自然禀赋条件的结合。随着国际印制电路板产能向东亚地区的转移和扩散,引进来的市场需求、技术发展路径和协作配套关系产生了高效的技术转移,通过与国外原材料、专用化学品以及专用设备企业的合作,我国快速地形成了中低端全品种印制电路板的制造能力,并发展出了本土的供应链条。

这个时期的标准化工作,强调紧跟国际标准、对接国际先进,为技术和商品国际流动提供便利。在引进国外成果的过程中,中国大陆和台湾地区、日本、韩国均将国际先进标准作为一种技术成果和商业文件模板引入,并植入产业链的日常活动中。不论这些先进标准是源自国际电工委员会(IEC)或是其他协会组织,其传播事实上是国际产业链主动转移的一个体现,也是对国外先进技术和市场依赖性的表现。这种依赖某种程度上有其合理性,代表了市场需求端的力量和要求。

默许、追认,甚至主动采用这些国外先进标准,是这一时期扶助产业发展的一个有效策略,符合当时的发展条件。此阶段,印制电路国家标准体系的建设是在借鉴国外先进标准发展脉络的基础上,保证国家、行业标准对产业链各个领域的全覆盖,促使标准的技

术水平达到国际门槛,并关注完善标准体系各标准的配套性。产业壮大、发展的结果可以证明,这个方针达到了其目的。

2 工作方针调整的必要性

以“跟随”为特征的工作方针,面临一个比较麻烦的问题:当我国印制电路板企业希望升级成为最高端产品——有机封装基板的主要玩家时,原有的标准化工作基础与形成新的产业优势的需求之间有差距。高端产品的竞争不是公司与公司个体间的竞争,而是高度协调的公司群之间的竞争。标准化水平则体现了这种协调性。我国借助国外产业转移所构建的庞大的印制电路板产业基底的内在结构并不完全具备构建、维持高端产品相关公司间“黏合力”的能力,行业中的市场主体也很难随着产业结构升级的要求,有意识地主动构建符合当前阶段需要的标准群。

3 有机封装基板产业的特点

3.1 产业链高度集中,公司间关系稳定且紧密

有机封装基板的产能集中度远高于其他印制电路板品种。全球约80%的市场被位于日本、韩国和中国台湾地区的全球前十大有机封装基板生产厂占据,规模优势明显。中国大陆目前仅在华南地区有少数几家公司拥有相对简单的封装基板生产技术。

最终的采购需求集中于高通、三星、苹果、小米和联发科等大型科技公司。因订购数量庞大且交期集中,业内通常采用包产方式订购,确保供应稳定。

这一产业供货资质要求高。由于对产品质量和交期要求严格,获得合格供方资格的过程相当复杂且时间较长,如三星的认证周期达到24个月。同样,一旦被认定,也不会轻易更换。

从所属关系上看,相当部分的有机封装基板大厂直接源自集成电路设计或封测行业,具有产业垂直整合的特点,如矽品科技从封测企业延伸出了有机封装基板厂家全懋,联电科技从集成电路设计延伸出了有机封装基板厂家欣兴。只有南亚和景硕来自于其他领域。

3.2 相关技术发展迅速,但基板材料处于垄断状态

有机封装基板在自身的技术特征、工艺方法以及产品形态上都存在不同技术发展路线的可能性。线宽和线距(L/S)是区分有机封装基板和“板级”印制电路

板的技术特征。目前,在有机封装基板(15 μm /15 μm 级)和印制电路板(30 μm /30 μm 级)之间出现了用于芯片封装的类载板(SLP),其线宽和线距小于30 μm /30 μm 。从工艺方法上看,存在减成蚀刻法、半加成法(SAP)和改良半加成法(mSAP)共用的趋势。这种共用,不但产生了更细的引线扇出和更密的导线间距,而且产品可以经历更少的层压。在产品形态上,为了应对晶圆扇出封装技术(InFo-WLP)的出现可能引起的价值链转移和产业链前后整合,有机封装基板公司开始从配套标准芯片级封装(CSP)、焊球阵列(BGA)等产品形态转向大力发展三维嵌入式基板产品。

不论工艺技术如何变化,除极个别产品采用FR-4或FR-5材料外,大多数刚性有机封装基板均采用被少数日本公司掌握的两三种基材,如三菱瓦斯、昭和电工掌握的双马来酞亚胺三嗪树脂(BT树脂)和味之素掌握的增层胶膜(ABF)材料。这些基材经过长期测试、验证和迭代,与客户工艺配合度很高,事实上处于一定程度的垄断状态。

3.3 企业和行业发展的关键是稳定的供应和用户联系

从上述行业现状可以看到,阻碍有机封装基板发展的关键是在极高的技术难度下产生的巨大的客户门槛和材料壁垒。这种特点显示出封装基板的发展必须构建在广泛客户群以及稳定材料供应的基础上,也就是下游联系应用,上游抓住材料。一旦构建了稳定的上下游关系,在我国集成电路的赶超式发展阶段中,我国有机封装基板完全可能再现其他中低端印制电路板品种那样的大发展历史。

4 有机封装基板标准化工作思路及当前重点任务

通过有机封装基板国家标准或行业标准的制定,在国家层面上规定出最低质量门槛,协助行政机关区分出合格产品和不合格产品,还远远不能达到企业在质量和成本方面对标准化工作的要求,不能支撑我国企业建立稳固的市场能力。

有机封装基板的标准化工作应从建立和壮大产业发展环境处着手,也就是从产业发展的核心“下游联系应用,上游抓住材料”处着手。有机封装基板厂家取得集成电路设计及制造厂家的认证问题,实际是建立保质、保量、按时交付能力的问题。交付的前提是有机封装基板厂家与客户(集成电路制造商)在数据要求及设计规则方面交流无碍;具有一个被各方认可的

产品性能要求和考核能力体系,保证产品的合格率水平。同时,为了保证材料供应稳定,还应从标准化的角度,牵引关键性材料可能的突破。

基于这种思路,应从以下三个方面重点开展标准化工作:1)探索集成电路设计、制造、印制板制造、印制板组件等产业链各环节相通的设计规则和数据格式类标准;2)围绕有机封装基板成品合格率,研制关键测试、检验方法标准以及相关产品规范;3)梳理有机封装基板关键基材评价指标,鼓励国内材料研发企业制定相关产品标准,不必苛求其产品应用的广泛性。

4.1 共通设计标准的探索

大量有机封装基板制造企业直接由集成电路设计或封测厂家投资。这种上下游垂直整合的经营方式是这个领域的一个重要特征,也是面对全球电子产品设计、制造难度不断增加,成本竞争日益激烈而做出的理性选择。这种紧密的相互联系,使大规模集成电路厂家、封装厂家和印制电路板制造厂家形成合力,实现设计整体优化,提升了可靠性和开发效率。如果各自分别开展设计优化,则必然产生内耗,不能形成系统优势。比如,在对电源完整性和信号完整性进行选择时,集成电路封装设计和印制电路板设计的关注点就会有所不同。作为封装一部分的封装基板,更多会考虑给芯片交流供电的问题,而印制板则会更关心信号的直流串扰控制。

因此,最终的设计目标需要上下游各部分设计人员紧密配合,在系统设计的过程中,运用仿真技术来确定设计准则。《大规模集成电路(LSI)封装印制电路板共通设计结构》(计划编号:20194109-T-339)则为这一任务提供了基础。这个标准可以减少设计人员在沟通中的误解,提高效率。图1为该标准的三种设计工具(集成电路设计工具、封装设计工具和印制板设计工具)间标准格式文件设计信息交换的示意图。通过统一使用交换设计信息的文件符号可以防止误解,并使设计工具设定自动化。

在启动集成电路设计、封装设计和印制板设计时,设计人员之间通过共享信息和协作,可以减少开发成本和时间。传统的设计流程和共通设计流程对比如图2所示,共通设计流程减少了开发成本和时间。

4.2 成品检测方法标准的补充

有机封装基板是集成电路的重要零部件,其用于器件接近成品的阶段。有机封装基板的不良可能导致整个器件的报废,因此成品率控制对于进入市场至关重要。成品率需要配套测试方法和性能指标。

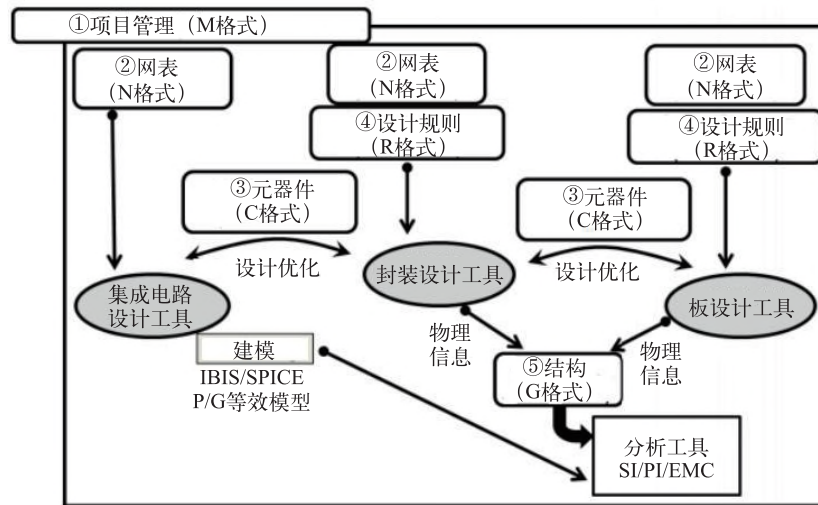


图 1 设计信息交换示意图

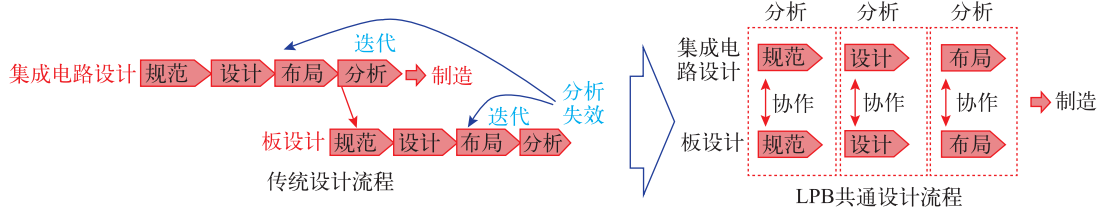


图 2 传统设计流程和共通设计流程对比

有机封装基板是印制板的一种，就测试方法而言，《印制板测试方法》(GB/T 4677—2002, 该标准目前正在申请修订的过程中) 适用于封装基板的外观、尺寸、剖切分析、耐化学、电互连等大部分测试。测试工作的重点在于尺寸与裸芯片的配合性、金属化层与焊球的兼容性以及特殊的表面特性三个方面。

与裸芯片的配合首先从封装基板平整度体现。标委会将在《印制板及印制板组装件的平整度控制要求》(20180210-T-339) 的基础上, 进一步考虑芯片键合区的局部平整度测试方法、基板弯曲度测试方法和基板翘曲度测试方法等新方法的标准化, 以从多维度配合客户对芯片配合性进行评价。BGA 器件、焊盘阵列 (LGA) 器件及焊柱阵列 (CGA) 等集成电路引出端的焊接后空洞是一个普遍存在的问题, 对可靠性有着非常重要的影响。《印制板组装件 第 6 部分: BGA 和 LGA 焊点空洞的评估要求及测试方法》(计划编号: 20193131-T-339) 利用 X 射线对器件焊球内部空洞、焊球 / 器件界面空洞等空洞类型进行分类、识别以及评估。该方法适用于从 $10\ \mu\text{m}$ 到几百微米的大空洞, 不适用于直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的较小空洞 (如平面微空洞)。封装基板产品首先会被用于集成电路的封测, 因此其表面阻焊的开窗状态对器件测试的便利性以及测试准确性的影响很大, 尤其是高密度、错综复杂的导线图形极易被刮伤或磨损。因此, 表面涂覆材料的表面

能对形成更易成型的涂层十分重要。目前业内尚无专用的测试方法的国家或行业标准, 标委会将择时进一步开展表面状态 (能) 测试方法的研究工作。

4.3 成品性能规范的确立

有机封装基板可以粗略地认为是传统高阶印制电路板制造技术和半导体制造技术的综合应用。以异构集成封装用有机基板为例, 传统的倒装球栅阵列封装基板是在高性能的高密度互连印制板 (HDI) 的表面上叠加 ABF 材料制成的电路层, 同时涵盖了传统印制板的 HDI 制造技术和加成法的 SAP 或 mSAP 技术。

根据这一实际情况, HDI 的技术要求应被有机封装基板的标准体系所涵盖。国家标准《高密度互连印制板分规范》(计划编号: 20202852-T-339) 中规定了有微导通孔的 HDI 的要求, 给出了微导通孔的定义, 即孔深度 (X) 与孔径 (Y) 的比值不大于 1, 且捕获连接盘到目标连接盘的距离 (同孔深度) 不超过 $0.25\ \text{mm}$ 。

同时, 《刚性有机封装基板通用规范》(计划编号: 20220107-T-339) 正在制定过程中。对于有机封装基板使用的金属化技术而言, 减成蚀刻法、SAP 和 mSAP 这些技术路线不是绝对相互排斥的, 也有在同一产品上组合使用不同技术的情况, 可获得更好的综合效果。比如, 目前国内主要的刚性封装基板工艺是采用了减成蚀刻法和 mSAP 法结合的工艺路线, 在较低成本下实现了更细的引线扇出和更密的导线间距, 不但

提供了更大的空间余量,而且可以经历更少的层压次数。在《刚性有机封装基板通用规范》中,可考虑根据减成蚀刻法和 mSAP 法的不同应用区域,分别制定不同的指标要求。

4.4 关键基板材料评价标准的研制准备

基板材料是制约封装基板产业发展的关键要素。有机封装基板上游的主要材料为树脂基板、铜箔等结构材料,以及干膜、阻焊剂、电镀液和其他化学品。基板材料可以分为刚性基板材料、柔性基板材料和陶瓷基板材料,其中以刚性基板材料应用范围最广。刚性基板材料主要包括 BT 树脂、ABF 材料、预包封材料(MIS),其中 BT 树脂和 ABF 材料是有机封装基板应用最广泛、最关键的材料,也是标准化工作的重点。

BT 树脂和 ABF 材料是有机封装基板的主导性材料,市场几乎被日本厂家统治。国内厂商在 BT 树脂方面已有所突破,可以量产供货,标准化条件比较成熟。目前国内有几家厂商研制出了 ABF 材料的类似产品,但尚未进入标准化阶段。通过前期工作,已经逐步开始形成对 ABF 材料考核的共识,初步考虑其核心指标项目包括三个方面。1) 基本性能:损耗为 $0.0012 \sim 0.018$ (10 GHz 或 5 GHz 条件下),温度系数为 $15 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ($25 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 条件下),伸长率为 $0.8\% \sim 5.6\%$ 。2) 金属化性能:线宽和线距。3) 可靠性要求:高温反偏老化、温湿度加速老化、高压蒸煮等。

从此类材料整体质量水平控制的角度考虑,可针对有机膜材料的化学、热物理分析测试方法开展进一步的研究工作,建立共性的测试方法体系,为业界的专业检测提供支撑,包括 DSC 分析(测试玻璃转化温度、熔点、结晶点、吸放热反应)、热机械分析(TMA,分析膨胀系数、固化程度、应力反应、动态黏弹性等)、热重分析(TGA)以及流变性分析等。

5 嵌入式基板是未来封装基板标准化发展重点

我国在传统的二维封装用封装基板方面是后来者,面临较大竞争压力。但三维封装用基板(嵌入式基板)为我国企业跨越式发展提供了机会,是标准化工作必须关注的要点。

5.1 嵌入式基板带来了产业链重新整合的机会

嵌入式基板提供了一种高性能、低成本的新商业模式,具有改变产业格局的可能性。封装基板是重资产密度、高技术密度的行业,打破既有格局非常困难。

嵌入式基板这个路线的本质是试图通过合并印制电路板制造和系统装联这两个完全独立的子行业,来创建一种新的兼顾高密度制造技术和低成本的集成制造模式。我国完全可以作为新模式的“开创者”,充分利用这一新的“超车”机会。

嵌入式印制板是通过在印制板内部嵌入裸芯片和/或无源元件的方式,实现高密度封装的封装基板技术路线。从技术上看,在印制板内部嵌入无源元件和裸芯片,不但留出了基板顶部和底部的空间,而且元件和芯片间的线路大大缩短,简化了键合引线结构,甚至消除了引线键合和二次成型过程,有利于复杂小节距封装的实现。从成本效益上看,在印制电路板中嵌入一个 $50 \mu\text{m}$ 厚、 $100 \mu\text{m}$ I/O 焊盘间距的芯片的方式可以不再使用昂贵且脆弱的再布线层(RDL),降低了单品成本。从规模效益上看,已经产业化的印制电路板设备、基础设施为实现高质量、低价的小节距封装基板的生产提供了一个庞大的工业基础。

电子装联委员会(IEC/TC 91)高度重视这一趋势并认为“也可能是整个电子产品未来发生的重大变化”。2016 年左右,委员会筹建了器件嵌入式技术工作组,负责制定器件嵌入组装技术领域的国际标准和其他可交付成果,包括器件嵌入基板和使用此类基板的模块。

5.2 嵌入式基板标准化工作任务

嵌入式基板是封装基板标准化工作的前沿,我国目前以辨别和采用符合产业发展要求的国际标准为技术研究和产业发展夯实基础为主。具体工作任务应从测试方法、技术指南以及设计准则开始。

嵌入式基板技术工业化的挑战是现有印制电路板制造工艺如何满足嵌入芯片实施要求。目前看,SAP 或 mSAP 路线是一个解决方案,这项技术有可能形成高宽厚比导线。另一个问题是,在常规印制电路板制造环境中,将半加成工艺的设备、芯片组装设备及制造环境集成进原有体系时,如何保持清洁度和无氧化物表面状态。最后,印制电路板企业面临如何测试产品以保证基本的交付质量的问题。因此,目前嵌入式基板标准化的重点是嵌入式基板性能测试方法、可靠性评价方法以及产品清洁度控制方法。

标委会已经制定了《嵌入式基板测试方法》(计划编号:20204845-T-339)。它规定了采用有机材料制造的嵌入无源或有源元器件基板的测试方法。测试分为 6 个方面,包括目检和显微剖切、电气测试、机械测试、环境试验、耐离子迁移以及交付测试。前 5 种测试与

GB/T 4677 中规定的测试原理并无本质差异,仅针对该类产品进行了适用性改进。交付测试中的电测试以及内部无损测试是专门针对嵌入式基板提出的,是嵌入式基板独有的测试。

后续,标委会将继续在 IEC/TC91 的《器件嵌入式基板 第 2-3 部分:设计指南》(IEC 62878-2-3)、《器件嵌入式基板 第 2-4 部分:测试单元》(IEC 62878-2-4)、《器件嵌入式基板 第 2-5 部分:器件嵌入式基板的三维结构数据》(IEC 62878-2-5)、《器件嵌入式基板 第 2-7 部分:器件嵌入式基板加速应力测试方法》(IEC 62878-2-7)和《器件嵌入式基板 第 2-8 部分:器件嵌入式基板翘曲度控制方法》(IEC 62878-2-8) 等文件基础上,开展相关研究工作,并结合国内实际制定相关标准。清洁度控制方法的研究尚待开展。

由于内嵌了其他元器件,所以可靠性评价是一个关键问题。《器件嵌入式基板 第 2-7 部分:器件嵌入式基板加速应力测试方法》的范围仅限于移动电子设备,并不足以为主要应用提供一个适用范围较宽的评价指南。总的评价原则是嵌入式结构的牢固性应能够与表面安装(SMT)水平一致。基于此,标准化的评估首先应基于标准测试单元开展:测试单元宜涵盖用于单独部件电气测量的探针测试结构(以反映不同应力条件下电阻、电压及功率等的变化),端子和导电结构绝缘的梳状或树状测试图形,互连电阻的菊花链结构,互连电镀性的通孔结构等。除结构性能外,还应考虑嵌入的电阻、电容以及芯片网络的性能测试等。其次,应充分利用不同产业链环节已有的工作程序和要求:电子元件、器件及基板制造材料应符合相关标准的规定,并涵盖在嵌入式基板厂家的入厂检验和测试中;嵌入式基板厂家根据最终整机用户的半成品/零部件要求,对嵌入式基板进行出货检验;用户进行涉及一个或多个嵌入式基板的最终互连故障、电气性能变化及系统绝缘测试。这一过程中,嵌入式基板厂家将面临如何与最终整机用户已有的印制板质量评价、材料兼容性以及设计规则相互协调的问题。

6 结束语

有机封装基板作为印制电路板产品的发展方向,面对自身产业升级的内在要求以及全球产业、技术发展的外在机遇,客观上要求重新思考标准化工作的方针和任务。标准化工作需要根据我国产业同时扮演的

“后进者”和“开创者”的多重身份,清楚认识产业发展的规律和机遇窗口,结合我国实际的发展基础,以支撑产业发展、形成自我发展能力为目的,针对不同情况,提出、制定具体的标准化发展策略和重点工作任务。作为“后进者”,我国应聚焦产业发展重点,研制具有竞争力的技术标准;在非重点方向,积极吸收、采纳、维护先发技术标准已有的规则,避免全面标准竞争的风险。在嵌入式有机基板和硅基、陶瓷等无机基板等前沿方向,我国可以作为“开创者”,积极辨识业态变化可能带来的机会,以我为主引进国际标准,充分利用行业先发者为适应变化而调整的难度,为产业超车提供一定的牵引。

总之,我国标准化的一切工作应服务于我国企业市场影响力,应有利于行业用户数量的增长,有利于产业自身能力水平的提升。

参考文献:

- [1] 华经产业研究. 2021 年中国封装基板市场规模、产量、需求量及重点企业经营情况[EB/OL]. (2022-06-21)[2024-01-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1736209292947821725&wfr=spider&for=pc>.
- [2] 天和防务. 给出 ABF 材料国产化替代方案,打破日本味之素垄断格局[EB/OL]. (2023-06-06)[2024-01-10]. https://www.sohu.com/a/682480376_99925212.
- [3] IEC/TC 91. Electronics assembly technology [EB/OL]. [2024-01-10]. https://assets.iec.ch/further_informations/1286/91.pdf?1112T02.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. 印制板测试方法: GB/T 4677—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [5] 中经智盛研究院. 2022—2026 年印制电路板市场现状调查及发展前景分析报告[EB/OL]. (2023-03-01)[2024-01-10]. https://it.sohu.com/a/647836628_121331963.
- [6] 集微网. 集微咨询:2020 年全球封装基板市场规模突破百亿美元,内资企业产值仅占 5.3%[EB/OL]. (2021-07-06)[2024-01-10]. <https://mp.weixin.qq.com/s/4QWkAOWNgY4uw18mforg5w>.



作者简介:

李锐(1979—),男,北京人,学士,高级工程师,主要研究方向为半导体集成电路领域标准化。