

电子行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	半导体推拉力测试仪校准规范		
制定或修订	☒ 制定 ☐ 修订	被修订计量技术规范号	/
计量技术规范性质	☐ 检定规程 ☒ 校准规范	计量技术规范类别	☒ 重点 ☐ 基础
主要起草单位	河南广电计量检测有限公司 广电计量检测集团股份有限公司		
联系人	师航	联系电话	13043098600
任务年限	1 年	申请经费	2 万元
参加单位	/		
目的、意义和必要性	1.计量技术规范项目编制的目的、意义，解决产业的问题和编制必要性、迫切性 半导体推拉力测试仪是用于测量微电子封装中微观连接点机械强度的检测设备。它可以对封装过程中形成的微小连接点施加精确可控的推力、拉力与垂直下压压力，动态采集全程压力曲线和峰值载荷，测量其最大承受力值，从而评估连接点的结合强度以及抗压力可靠性是否达标。 芯片从晶圆到成品，要经历上百道工序，其中最容易出问题、也最容易被忽视的就是封装环节中微米级的连接点：金线是否焊牢、锡球是否稳固、芯片与基板的粘接是否可靠，这些肉眼无法看到的问题，常规电测也测不出来。必须要用半导体推拉力测试仪给这些“微观连接点”做检测。半导体推拉力测试仪在半导体封测中的典型应用场景有： （1）焊线拉力测试（Wire Pull Test）。引线键合是半导体封装中最主流的互连方式。一根金线的直径可能只有25微米（约头发丝的1/3），但它要承载电气信号传输，还要经受塑封、回流焊、温度		

循环等工艺考验。如果键合强度不足，很容易出现断线、脱焊，导致芯片开路失效。通过推拉力测试仪钩针钩住键合线，垂直向上施加拉力，直到线拉断或从焊点脱开，记录最大拉力值。由此可以检测金线、铝线、铜线与芯片焊盘或引线框架之间的键合强度。

（2）锡球/金球剪切力测试（Ball Shear Test）。在倒装芯片和BGA封装中，锡球承担着芯片与基板之间全部的电气和机械连接。如果锡球与焊盘的结合不牢，在回流焊或使用过程中就可能出现虚焊、掉球，造成整机故障。

（3）芯片推力测试（Die Shear Test）。芯片贴装（Die Attach）时，要使用粘接材料（如银胶、环氧树脂、焊料等）把芯片牢牢固定。如果粘接强度不足，芯片可能在震动、跌落或温度变化中移位、脱落，或者因热阻增大而过热烧毁。推拉力测试仪用一个宽推刀水平推动芯片侧面，检测芯片背面与基板、引线框架或散热片之间的粘接强度，测量将芯片从基板上推离所需的力，以剪切力值判断胶层厚度均匀性、固化工艺。

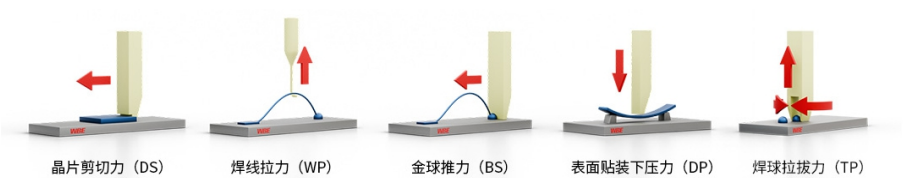
（4）凸点拉力测试（Bump Pull Test）。在晶圆级封装（WLP）中，推拉力测试仪常用来检测铜柱凸点或焊料凸点与芯片之间的结合强度。晶圆级封装直接在芯片上制作凸点，没有基板作为缓冲。凸点既要承受后续贴装的压力，还要在热循环中保持良好的可靠性。如果结合强度不足，凸点可能整颗脱落，造成报废。凸点拉力测试类似于焊线拉力测试，但钩针需要更精密地钩住微小凸点进行垂直拉伸。

（5）推球测试（Push Ball Test）。在大型BGA封装中，锡球数量达数百上千颗。不同位置的锡球在回流焊时受热可能不均匀，角落或边缘的锡球更容易出现问题。与锡球剪切类似，推球测试更侧重对球栅阵列中特定位置锡球进行针对性检测，以此来评估整批产品的焊点质量。原理与剪切测试相同，但可以根据需要选择不同尺寸的推刀，匹配不同直径的锡球。利用推拉力测试仪推刀水平推动锡球，测量将其从焊盘上推掉所需的力。通过力值大小和断裂模式

	（是内聚断裂还是界面断裂），可以判断焊盘表面处理质量、回流焊工艺是否达标。在BGA、CSP等封装形式中，经常用推拉力测试仪来检测锡球或金球凸点与焊盘之间的剪切强度。 （6）表面贴装下压力测试（SMT Downward Pressure Test）。在PCB 表面贴装工艺中，推拉力测试仪用于检测元器件贴装压合过程的垂直下压力特性与承压可靠性。SMT 贴片机吸嘴会施加垂直下压力，使元件引脚、焊盘与焊膏充分贴合，压力不当易造成元件破损、虚焊、偏移。设备通过垂直下压探头模拟贴装下压动作，设定下压速度、下压深度及保压时长，全程记录动态压力曲线、峰值下压载荷以及压力保持稳定性。以此验证芯片、微型器件及焊点可承受的合理贴装压力范围，优化 SMT 贴装参数，避免压伤元器件和微焊点，保障批量表面贴装产品焊接质量与长期使用可靠性。 半导体推拉力测试仪是芯片封装与可靠性验证环节的核心计量设备，它直接决定了芯片连接强度的测试结果是否可靠，是保障芯片长期稳定工作的关键“质量守门员”。使用场景涉及标准如下： GB/T 4937.22-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第22部分，标准对试验设备的要求：试验装置应包括按规定的试验方法要求，在键合点、引线或引出端上施加规定应力的设备。该设备能对失效时施加的应力(以N为单位)提供经过校准的测量和指示。该设备测量100mN以内的力(包括100 mN)应具有±2.5mN的精度，测量100 mN到500 mN之间的力应具有±5mN的精度，测量超过500 mN的力，应具有指示值的±2.5%的精度。 GJB 548C 军用微电子器件试验方法和程序，方法2019.2芯片剪切强度中，标准对试验设备的要求：对本试验所需设备是一台能施加负载的仪器，要求其准确度达到满刻度的±5%或 0.5N(取其较大者)；一台用来施加本试验所需力的带有杠杆臂的圆形测力计或线性运动加力仪。 GB/T 41853-2022 MEMS器件晶圆键合强度测试方法，标准对试验设备的要求：测试装置应配备一个施力仪器,其最低精度达到该
--	--

仪器满量程的5%以内或500mN以内即可。

半导体推拉力测试仪在芯片可靠性检测中应用广泛，目前仪器计量是参照JJF 1134-2005 专用工作测力机校准规范进行溯源，但由于仪器的机械结构和测试方法与传统专用工作测力机有较大区别，传统工作测力机施加力值方向，垂向施加于被测样品，提供压力或拉力。半导体推拉力测试仪可对芯片进行拉力、剪切力、推力的测试，拉力试验时测试仪是提供垂向施加于被测样品的拉力，剪切力和推力测试，则是测试仪对被测样品提供水平力值。不满足半导体推拉力测试仪的溯源需求。



校准规范与溯源体系缺失，直接影响封测良率与可靠性数据可信度。因此急需制定半导体推拉力测试仪校准规范，以解决仪器溯源问题。编制半导体推拉力机校准规范，可填补该领域的计量标准空白，完善半导体全产业链的计量溯源体系。

2.先进性和亮点、社会效益和推广应用前景

先进性：半导体推拉力测试仪校准规范，专门针对半导体微力推拉力设备，针对键合线拉力、焊球剪切、芯片推力、凸点剥离等典型测试工况的工作模式进行仪器设备溯源，技术指标覆盖毫牛级微力至百牛级量程，适配半导体封测全品类检测设备。

亮点：本项目核心亮点在于针对半导体推拉力机与传统测力设备的本质差异，突破现行 JJF 1134-2005 通用规范局限，编制专属校准规范。一是场景精准化，聚焦键合线、焊球、芯片剪切等半导体典型测试工况，细分微力量程与设备类型，针对性极强；二是指标体系全面升级，补齐原有标准缺失内容；三是校准方法创新，针对推力参数的计量，垂直力通过仪器专用杠杆和标准砝码施加垂直力转换为推力，还原真实测试状态，校准结果更准确可信；四是增加了位移参数的校准。

	社会效益：填补半导体微力推拉力测试领域专用计量标准空白，为电子制造、精密测试领域的计量技术体系，完善高端装备、先进封装产业链的量值溯源能力，提升国内计量领域对半导体细分赛道的技术支撑能力，助力国家先进制造业计量基础设施建设。 推广应用前景：该专项校准规范适配国内海量半导体封测产线、第三方实验室及计量机构，可快速在全国半导体产业集群落地；既能满足现有设备常态化校准，也适配新一代智能在线测试设备，同时可向光伏、Mini/Micro LED、精密电子等相近领域延伸，市场需求大、复用性强，推广应用空间广阔。 <u>3.查新结果（国家、本行业或其他行业是否有相关技术规范）</u> 目前国家、军工、行业、地方均没有半导体推拉力测试仪的技术规范。
产业链应用	<u>1.重点产业链方向</u> 半导体推拉力测试仪校准规范将广泛应用于半导体封装测试企业、各级计量技术机构、第三方检测实验室、科研院所、仪器制造厂商，同时服务于车载、军工、通信等高端电子产业。该项目可覆盖各类半导体推拉力测试设备的计量校准、出厂检验、日常核查与质量管控工作。项目直击半导体封装测试核心产业链，同时辐射半导体专用检测装备、精密计量、高端电子元器件、车载电子等上下游重点产业链，以计量标准为抓手，补齐产业链质量管控短板，推动全链条标准化、高端化发展。 <u>2.对本行业重点产业链的支撑作用</u> 封装测试是我国半导体优势产业链，推拉力测试是器件可靠性判定的关键工序。半导体推拉力测试仪校准规范的制定覆盖各类半导体推拉力测试设备的计量校准，筑牢半导体封测产业链质量底线。依据校准规范开展计量校准，确保了关键测试数据的准确与可信，填补半导体微力测试领域计量标准空白，扩充各级计量院所、第三方校准机构的业务范围与技术能力，构建面向半导体产业的专业化计量服务链条。

范围 and 主要
计量特性

1. 计量技术规范适用范围

本规范适用于半导体推拉力测试仪的校准。

2. 典型仪器或试验设备、计量特性的技术指标（包括其名称、测量范围和最大允许误差）

2.1 典型的半导体推拉力测试仪

2.1.1 科准 Alpha W260 半导体封装推拉力测试仪

下图 1 为科准型号为 Alpha W260 的半导体封装推拉力测试仪。



图 1 典型的半导体推拉力测试仪。

科准 Alpha W260 的技术指标如下：

力值精度：0.15%

位移精度：X/Y 轴行程 140mm，Z 轴行程 90mm，精度 $\pm 1 \mu\text{m}$

2.1.2 科准 Beta S100 自动推拉力测试仪

下图 2 为科准型号为 Beta S100 的自动推拉力测试仪。



图 2 典型的半导体推拉力测试仪。

科准 Beta S100 自动推拉力测试仪的技术指标如下：

力值精度：0.25%

位移精度：X/Y 轴行程 140mm，Z 轴行程 90mm，精度 $\pm 1 \mu m$

2.1.3 威邦 WBE-9088B 推拉力测试仪

下图 3 为威邦型号为 WBE-9088B 推拉力测试仪。



图 3 典型的半导体推拉力测试仪

WBE-9088B 推拉力测试仪的技术指标如下：

力值精度：0.1%

位移精度: X/Y 轴行程 100mm, 精度 $\pm 5 \mu\text{m}$; Z 轴行程 75mm, 精度 $\pm 2 \mu\text{m}$

2.1.4 立标精密 LB-8500H 半导体 mimi 推拉力测试仪

下图 4 为立标精密型号 LB-8500H 推拉力测试仪。



图 4 典型的半导体推拉力测试仪

力值精度: 0.1%

位移精度: X/Y 轴行程 500mm*300mm, 精度 $\pm 5 \mu\text{m}$; Z 轴行程 100mm, 精度 $\pm 2 \mu\text{m}$

2.2 半导体推拉力测试仪的计量特性

参考半导体封装检测标准的要求: GB/T 4937.22-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第 22 部分, 标准对试验设备的要求: 试验装置应包括按规定的试验方法要求, 在键合点、引线或引出端上施加规定应力的设备。该设备能对失效时施加的应力(以 N 为单位)提供经过校准的测量和指示。该设备测量 100mN 以内的力(包括 100 mN)应具有 $\pm 2.5\text{mN}$ 的精度, 测量 100 mN 到 500 mN 之间的力应具有 $\pm 5\text{mN}$ 的精度, 测量超过 500 mN 的力, 应具有指示值的 $\pm 2.5\%$ 的精度。

GJB 548C 军用微电子器件试验方法和程序, 方法 2019.2 芯片剪切强度中, 标准对试验设备的要求: 对本试验所需设备是一台能施加负载的仪器, 要求其准确度达到满刻度的 $\pm 5\%$ 或 0.5N(取其较

	大者); 一台用来施加本试验所需力的带有杠杆臂的圆形测力计或线性运动加力仪。 GB/T 41853-2022 MEMS 器件晶圆键合强度测试方法, 标准对试验设备的要求: 测试装置应配备一个施力仪器, 其最低精度达到该仪器满量程的 5% 以内或 500mN 以内即可。 结合典型仪器技术指标、试验标准对试验设备的要求, 半导体推拉力测试仪的计量特性如下: (1) 推拉力值 测量范围 (0.001~2000) N, 最大允许误差: $\pm 0.5\%$。 (2) 运行位移 X/Y 轴运行位移测量范围 (0~500) mm, 最大允许误差 $\pm 3 \mu\text{m}$; Z 轴运行位移测量范围 (0~200) mm, 最大允许误差 $\pm 1 \mu\text{m}$。 <u>3.主要测量标准的技术指标</u> 3.1 专用砝码 力值范围: 0.001N~50N; 最大允许误差: $\pm 0.1\%$ 3.2 标准测力仪 测量范围: 1N~100N; 最大允许误差: $\pm 0.1\%$ 3.3 数显卡尺 测量范围: (0~300) mm 最大允许误差: $\pm (0.03\sim 0.04)\text{mm}$ 3.4 激光干涉仪 最大允许误差: $\pm (0.03+0.5L) \mu\text{m}$ 3.5 推力专用杠杆工装 用于推力示值误差校准 (配套推力标定杠杆)。 <u>4.简要描述主要计量项目的技术原理</u> 4.1 推拉力值 4.1.1 拉力示值相对误差
--	--

a) 在仪器拉力值量程范围内，均匀选取不少于 5 个校准点，将拉钩安装至仪器测头，半导体推拉力测试仪调零，通过专用砝码直接测量相应校准点拉力。此过程重复 3 次，按以下公式计算示值相对误差。

$$w_i = \frac{\bar{F}_i - F_i}{F_i} \times 100\%$$

式中：

w_i -----第 i 个校准点示值误差

$\bar{F}_i$ -----仪器第 i 个校准点 3 次示值平均值

F_i -----第 i 个校准点施加的专用砝码值



图 4 拉力校准示意图

4.1.2 推力示值相对误差

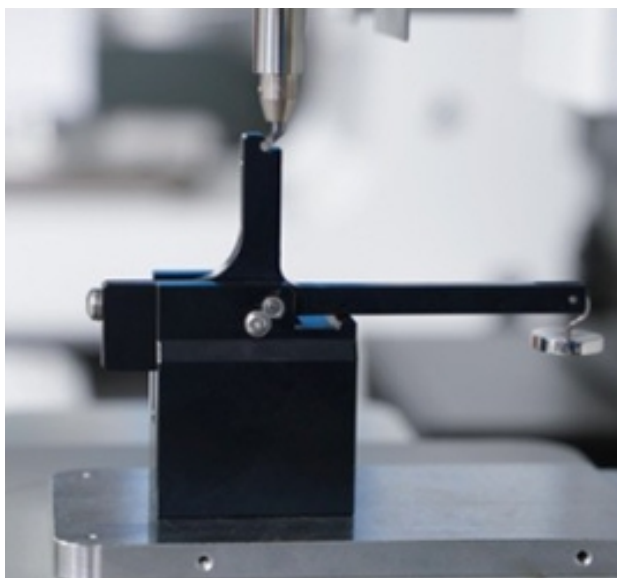


图 5 推力校准示意图

a) 按图 5 安装推力专用校准杠杆工装。

b) 使用数显卡尺测量力臂 L1，一端对准支点中心，另一端水平对齐砝码挂绳的位置，读数即为砝码力臂 L1。

使用数显卡尺测量力臂 L2，卡尺一端对准支点中心，另一端水平对齐测针与工装钢球的接触切点位置，读数即为测头力臂 L2。

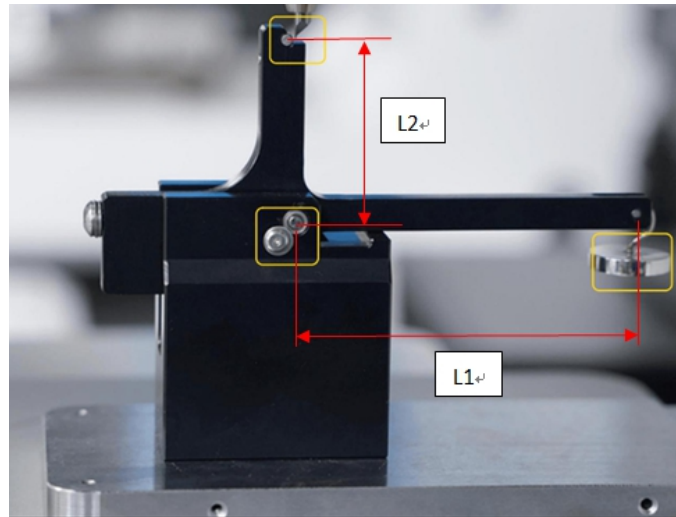


图 6 推力杠杆力臂示意图

c) 计算杠杆比 η ， $\eta = L1/L2$ ，

d) 计算推力示值误差，在仪器推力力值量程范围内，均匀选取不少于 5 个校准点，半导体推拉力测试仪调零，通过专用砝码按校准点逐次加载，此过程重复 3 次，按以下公式计算示值相对误差。

$$w_i = \frac{\bar{F}_i - F_i \times \eta}{F_i \times \eta} \times 100\%$$

式中：

w_i -----第 i 个校准点示值误差

$\bar{F}_i$ -----仪器第 i 个校准点 3 次示值平均值

F_i -----第 i 个校准点施加的专用砝码值

η -----专用力臂杠杆比

4.1.3 压力示值相对误差

a) 在仪器压力力值量程范围内，均匀选取不少于 5 个校准点，将压力测头安装至仪器上面。将标准测力仪和半导体推拉力测试仪的示值调至零点。沿标准测力仪受力轴线逐点递增施加试验力值，至校准点保持稳定后读取进程示值，该过程连续进行 3 遍。按以下

	公式计算示值相对误差。 $w_i = \frac{\bar{F}_i - F_i}{F_i} \times 100\%$ 式中： w_i-----第 i 个校准点示值误差 $\bar{F}_i$-----仪器第 i 个校准点 3 次示值平均值 F_i-----第 i 个校准点标准测力仪示值 4.2 运行位移 4.2.1 X 轴运行位移 激光干涉仪的靶镜固定在推拉力测试仪 X 轴向运行轨道上，调整激光干涉仪的激光光束与推拉力测试仪 X 轴基准导轨平行。在推拉力测试仪 X 轴测量范围内选取大致均匀分布的 5 个测量点，推拉力测试仪 X 轴依次允许至各测量点，每个测量点重复测量 3 次，读取激光干涉仪示值，按以下公式计算示值相对误差。 $\Delta x_i = X_i - x_i$ 式中： Δx_i-----第 i 个测量点示值误差 X_i-----仪器 X 轴第 i 个测量 x_i-----激光干涉仪第 i 个测量点读取的示值 4.2.2 Y 轴运行位移 把激光干涉仪的靶镜固定在推拉力测试仪 Y 轴向运行轨道上，调整激光干涉仪的激光光束与推拉力测试仪 Y 轴基准导轨平行。在推拉力测试仪 Y 轴测量范围内选取大致均匀分布的 5 个测量点，推拉力测试仪 Y 轴依次允许至各测量点，每个测量点重复测量 3 次，读取激光干涉仪示值，按以下公式计算示值相对误差。 $\Delta y_i = Y_i - y_i$ 式中： Δy_i-----第 i 个测量点示值误差 Y_i-----仪器 X 轴第 i 个测量 y_i-----激光干涉仪第 i 个测量点读取的示值
--	--

	4.2.3 Z 轴运行位移 把激光干涉仪的靶镜固定在推拉力测试仪 Z 轴向运行轨道上，调整激光干涉仪的激光光束与推拉力测试仪 Z 轴基准导轨平行。在推拉力测试仪 Z 轴测量范围内选取大致均匀分布的 5 个测量点，推拉力测试仪 Z 轴依次允许至各测量点，每个测量点重复测量 3 次，读取激光干涉仪示值，按以下公式计算示值相对误差。 $\Delta z_i = Z_i - z_i$ 式中： ΔZ_i-----第 i 个测量点示值误差 Z_i----仪器 X 轴第 i 个测量 z_i----激光干涉仪第 i 个测量点读取的示值
水平	☐ 国际先进 ☒ 国内先进
国内外情况 简要说明	<u>1.与国内相关技术规范之间的关系</u> 目前国内没有相关的技术规范，JJF 1134-2005 专用工作测力机校准规范适用于各种规格和级别的压缩试验仪、颗粒强度测试仪等专用工作测力机力值参数的校准，该规范的示值校准方法不适用于半导体推拉力测试仪，且无法对半导体推拉力测试仪运行位移量进行有效的溯源。 半导体推拉力测试仪计量特性来源于 GB/T 4937.22-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第 22 部分、GJB 548B 军用微电子器件试验方法和程序、GB/T 41853-2022 MEMS 器件晶圆键合强度测试方法对实验设备的要求，推力示值相对误差的校准方案，参考 JJF 1221-2025 汽车排气污染物检测用底盘测功机校准规范，该规范有对使用仪器自带力臂杠杆进行力值示值误差校准的方法介绍。运行位移方法的校准参考 JJF(闽) 1043-2011 接触(触针)式表面轮廓测量仪校准规范对轮廓垂直分量 Z 轴和轮廓水平分量 X 轴的方法。 <u>2.指出是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况</u> 无知识产权问题或涉及专利情况。

推荐意见		半导体推拉力测试仪主要用于微电子封装中微观链接相关的机械强度的检测，是芯片封装与可靠性验证环节的核心设备，广泛用于半导体封装测试领域。但目前国家及行业没有相应的计量技术规范，不能满足计量需求，因此有必要编制本规范。建议书给出的计量特性和技术方案基本合理，可满足半导体推拉力测试仪的校准需求。			
主要 起草 单位	(签字、盖公章) 月 日	技术 委员 会	(盖公章) 月 日	部委托 支撑 单位	(盖公章) 月 日

填写说明：1.表中第 2，3，11 行，请在选定的内容上填写 “■”的符号。
2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。