

陕西省科学技术进步奖公示

项目名称： 基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术

提名者： 中共陕西省委军民融合发展委员会办公室

提名意见：

基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术由西安微电子技术研究所独立开发研制，项目组成员有：袁海、李梦琳、赵国良、张军、陈龙飞、薛亚慧、孙程程、雷雨辰、汤姝莉、梁乾。针对当前系统集成(SiP)产品制造门槛高、热设计困难、周期成本压力大且自主可控程度低的核心瓶颈，该项目创新性地提出了一种基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术，突破了基于铜浆烧结工艺的高密度腔式载板研制，建立了基于该结构的非气密性组装工艺平台，开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径。拥有多项自主知识产权，关键核心技术自主可控，多款系列产品成功应用于多个战略型号中，产值突破亿元，整体技术达到国内领先、国际先进水平，是一项兼具科技价值、经济价值与社会价值的突破性成果。

本单位认真审阅了该项目的提名书及附件材料，对照陕西省科学技术进步奖授奖条件，相关栏目填写符合科技奖励要求，材料内容真实有效，候选人、候选单位、知识产权和应用单位经公示无异议。

提名该项目为陕西省科学技术进步**二等奖**。

项目简介：

以台积电 CoWoS 为代表的 2.5D/3D 封装技术虽实现了超高密度集成，但面临制造门槛高、热设计困难、周期成本压力大且自主可控程度低的核心瓶颈，本项目直击上述痛点，提出一种基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术，开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径，建立了基于该结构的非气密性组装工艺平台。项目研制难度大，创新性强，拥有多项自主知识产权，关键核心技术自主可控，整体技术达到国内领先、国际先进水平。

1. 主要研究内容及创新点

(1) 提出一种基于腔式载板的大规模器件和裸芯片混合封装结构，具有研制周期短、成本低、可制造性强等特点，填补了该领域的空白；

(2) 首次提出一种基于铜浆烧结工艺的高密度腔式载板，突破了基板低翘曲设计、腔体内高密度布线、多阶高密度激光盲埋孔制作、铜浆烧结等关键技术；

(3) 建立了基于腔式载板的非气密性组装工艺平台，突破了多项关键工艺，形成微电路模块设计工艺基线，支撑了多款 SiP 产品的研制和生产。

通过该技术研制的 JBC01G 型总线控制 SiP 模块已在多个国家重点型号中成熟应用，形成产值 1850 余万元，同结构已推广至多款产品中，累积形成直接产值突破亿元，应用前景广阔。

该技术方案技术难度小、可靠性较高，可以向航空航天、高端通信、工业母机、新能源车辆等要求严苛的民用高端领域扩散，形成“以军促民”的良性循环，促进高科技产业的发展，不仅可以带动地方经济增长，还可以提高当地的科技水平和创新能力。同时，该技术以低成本、高可制造性的特点降低了创新门槛，繁荣中小微企业创新生态，使得更多中小型科技公司、初创团队甚至科研院所，能够以更低的成本和风险，将其先进的芯片设计与系统构想转化为可量产的产品，有助于激发更广泛的“芯-器-系统”协同创新，形成“百花齐放”的良性生态，避免

技术被少数巨头垄断，会对地方经济社会发展产生积极的影响。

本项目社会效益深远且多维，不仅体现在直接经济效益上，更在生态、环境及产业层面产生了积极的链式反应，是一项兼具科技价值、经济价值与社会价值的突破性成果。

2. 知识产权情况

该项目研制过程中，申请国家发明专利 9 项（授权 4 项，已受理 5 项）、工艺基线及标准 8 项、公开发表学术论文 12 篇、航天科技成果鉴定证书 1 份。

3. 主要技术指标

(1) 基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装平台建立

提出了一种基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术，突破了基于铜浆烧结工艺的高密度腔式载板研制，建立了基于该结构的非气密性组装工艺平台，开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径。

(2) 封装结构技术指标

较传统系统集成产品，封装密度提升 60%，生产效率提升 50%，热阻为 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，远优于传统 SiP 产品，成本仅为原产品的 1/10。

4. 应用推广及效益情况

课题产品 JBC01G 型总线控制 SiP 模块是一款面向地面机箱设备的通用产品，提供了多种总线协议一体化设计解决方案，可通过以太网指挥通讯系统，与武器控制平台无缝互联，符合新一代武器系统的发展需要，具有较长的生命周期及良好的应用前景，目前已形成该产品的自动化生产及批量筛选能力，并完成设计定型，该产品已被十余家用户选用，主要配套于多个战略型号的主控板卡中，主要用户有航天科工 401 所、730 所等，已形成产值约 1850 余万元，后续年需求量约 1000 只/年，整个生命周期预计需求量 10000 只以上。

通过代表产品的研制，攻克了多项关键工艺，建立了基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装工艺平台，形成了微电路模块设计工艺基线，目前，该工艺结构已推广应用至 LSP335MC-2 型驱动电源模块、LGD-3 型双路 MOSFET 隔离

驱动模块、LSiP7A50T 型 FPGA 信息处理模块等多款产品中，累积形成产值突破亿元。

本项目开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径，是低成本系统集成产品主流发展途径，后续依托于非气密性组装工艺平台及微电路模块设计工艺基线，将持续扩充产品类别，为系统集成类产品的长期发展奠定基础。

客观评价：

针对当前系统集成 (SiP) 产品制造门槛高、热设计困难、周期成本压力大且自主可控程度低的核心瓶颈，本项目直击上述痛点，提出一种基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术，突破多项关键技术，开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径，建立了基于腔式载板的非气密性组装工艺平台。相较于以 CoWoS 为代表的 2.5D/3D 集成技术，本项目提出的基于腔式载板的异质器件高可靠混合封装方案，通过在腔式载板中直接埋置裸芯片构成三维互连，不仅规避了硅中介层带来的高昂成本和供应链风险，还在功率密度、成本及开发便捷性方面展现了独特优势。

该技术方案技术难度小、可靠性较高，可以向航空航天、高端通信、工业母机、新能源车辆等要求严苛的民用高端领域扩散，形成“以军促民”的良性循环，促进高科技产业的发展，不仅可以带动地方经济增长，还可以提高当地的科技水平 and 创新能力。

本项目社会效益深远且多维，不仅体现在直接经济效益上，更在生态、环境及产业层面产生了积极的链式反应，是一项兼具科技价值、经济价值与社会价值的突破性成果。

应用情况和效益：

1. 应用情况

课题产品 JBC01G 型总线控制 SiP 模块是一款面向地面机箱设备的通用产品，提供了多种总线协议一体化设计解决方案，可通过以太网指挥通讯系统，与武器控制平台无缝互联，符合新一代武器系统的发展需要，具有较长的生命周期及良好的应用前景，目前已形成该产品的自动化生产及批量筛选能力，并完成设计定型，该产品已被十余家用户选用，主要配套于多个战略型号的主控板卡中，主要用户有航天科工 401 所、730 所等，后续年需求量约 1000 只/年，整个生命周期预计需求量 10000 只以上。通过代表产品的研制，攻克了多项关键工艺，建立了基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装工艺平台，形成了微电路模块设计工艺基线，目前，该工艺结构已推广应用至 LSP335MC-2 型驱动电源模块、LGD-3 型双路 MOSFET 隔离驱动模块、LSiP7A50T 型 FPGA 信息处理模块等多款产品中，已在科工二院 206 所、201 所等单位成熟应用。

本项目开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径，是低成本系统集成产品主流发展途径，后续依托于非气密性组装工艺平台及微电路模块设计工艺基线，将持续扩充产品类别，为系统集成类产品的长期发展奠定基础。

具体的主要单位及应用情况如下表所示：

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/ 固定电话
1	航天二院706所	JBC01G 型总线控制 SiP 电路	用于某战略型号控制板卡中，多次采购，产生经济效益约 360 万元。	2022 年 11 月至今	贾旭 /13366759972

2	四川灵通电讯有限公司	JBC01G 型总线控制 SiP 电路	用于某战略型号控制板卡中，多次采购，产生经济效益约 430 万元。	2022 年 5 月至今	董刚 /15308323005
3	北京航天晨信科技有限责任公司（科工四院401所）	JBC01G 型总线控制 SiP 电路	多次采购，产生经济效益 240 万元。	2022 年 5 月至今	张伟楠 /17310777516
4	北京机械设备研究所（科工二院206所）	LSP335MC-2 型驱动电源微电路模块	主要用以某弹载产品，是一款通用产品，多次采购，产生经济效益约 220 万元。	2023 年 8 月至今	孙春香 /13581587093

2. 经济效益和社会效益

(1) 经济效益

课题产品 JBC01G 型总线控制 SiP 模块是一款面向地面机箱设备的通用产品，已被十余家用户选用，主要配套于多个战略型号的主控板卡中，主要用户有航天科工 401 所、730 所等，已形成产值约 1850 余万元，后续年需求量约 1000 只/年，整个生命周期预计需求量 10000 只以上。

通过代表产品的研制，攻克了多项关键工艺，目前，该工艺结构已推广应用至 LSP335MC-2 型驱动电源模块、LGD-3 型双路 MOSFET 隔离驱动模块、LSiP7A50T 型 FPGA 信息处理模块等多款产品中，累积形成产值突破亿元。

(2) 社会效益

本项目开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径，其社会效益深远且多维，不仅体现在直接经济效益上，更在生态、环境及产业层面产生了积极的链式反应，是一项兼具科技价值、经济价值与社会价值的突破性成果。

一、生态效益：构建安全、开放、协同的产业新生态

1) 强化产业自主可控，保障供应链安全

在当前全球科技竞争与供应链重塑的背景下，该方案显著提升了自主可控程度，减少了国内高端电子产品对国外先进封装技术与产能的依赖，为国家关键信息基础设施和战略性新兴产业的供应链安全与韧性提供了底层技术支持。

2) 降低创新门槛，繁荣中小微企业创新生产

低成本、高可制造性的特点，使得更多中小型科技公司、初创团队能够以更低的成本和风险，将其先进的芯片设计与系统构想转化为实际可量产的产品。这有助于激发更广泛的“芯-器-系统”协同创新，形成“百花齐放”的良性生态，避免技术被少数巨头垄断。

二、环境效益：践行绿色制造与可持续发展

1) 提升能效，减少终端产品能耗

良好的热设计使得芯片在更低温度、更高效率下运行，从而降低最终电子设备的整体运行能耗，为下游产品实现“双碳”目标做出贡献。

2) 优化材料使用，减少资源消耗：

“低成本”往往意味着设计更简洁、材料使用更集约、工艺步骤更少。“可制造性差”的改善，直接降低了生产过程中的废品率和返修率，减少了因不良品导致的材料与能源浪费。

主要知识产权和标准规范等目录：

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种用于混合集成电路寿命预计试验的测试芯片及应用	中国	ZL202010872900.0	2023.01	第5688279号	西安微电子技术研究所	李梦琳、孙程程、徐文俊、郑东飞
2	发明专利	一种若干个多芯片/硅转接板组件的倒装焊叠层组装方法	中国	ZL202011174060.7	2022.04	第5074349号	西安微电子技术研究所	汤姝莉、赵国良、张健、薛亚慧、袁海，杨宇军、郝运
3	发明专利	一种厚膜深腔混合集成电路的真空汽相清洗治具及方法	中国	ZL202011248360.5	2023.06	/	西安微电子技术研究所	张健、赵国良、刘发
4	发明专利	一种微波盲槽外形铣切方法	中国	ZL202210825951.7	2023.04	/	西安微电子技术研究所	雷雨辰，高静茹
5	发明专利	一种 BGA 器件与裸芯片双面集成微电路结构及制作方法	中国	2023106998294	/	/	西安微电子技术研究所	李梦琳、赵国良、郑东飞、郭清军、张现顺
6	发明专利	一种基于 PCB 的裸芯片与成品器件混合封装方法	中国	2023107015365	/	/	西安微电子技术研究所	李梦琳、郑东飞、郭清军、张现顺、赵国良
7	发明专利	一种总线控制微电路集成模块	中国	2023106990979	/	/	西安微电子技术研究所	李梦琳、郭清军、郑东飞、赵国良
8	发明专利	一种可清洗去除的阻焊膏及制备方法	中国	202510558155.5	/	/	西安微电子技术研究所	刘发、徐鑫、万欢欢，袁海、赵国良、张文家
9	发明专利	一种基于硅基板倒装焊的多芯片多组件叠层结构	中国	202210087366.1	/	/	西安微电子技术研究所	汤姝莉、赵国良、邵领会、张健、薛亚慧
10	标准规范	微电路模块 JBC01G 型总线控制 SiP 电路详细规范	中国	/	2022.04	/Q/ALJ23735-2021	西安微电子技术研究所	李梦琳、郭清军、王云鹤

11	标准规范	微电路模块 LSP335MC-2 型 驱动电源模块详细规范	中国	Q/ALJ242 20-2023	2023.10	/	西安微电子技术研究所	梁乾、李梦琳等
12	标准规范	微电路模块设计 工艺基线	中国	Q/ALJ116 59A-2025	2025.06	/	西安微电子技术研究所	赵国良、张现顺、 杨昊泽等
13	论文	基于 DSP 与 FPGA 的电机驱动 SiP 控制器设计	中国	第二十三 届全国混合集成电路学术会 议	2025.09	/	西安微电子技术研究所	梁乾、李梦琳、 陈龙飞、张军
14	论文	《Life prediction of gold-aluminum bonding system based on failure physics under multi-stress coupling》	国际会议	The 22nd International Conference on Electronic Packaging Technology	2022.07	/	西安微电子技术研究所	李梦琳、陈龙飞、 张现顺
15	论文	《等离子清洗对 芯片钝化膜及 电性能的影响》	中国	电子工艺技术	2021.01	/	西安微电子技术研究所	张现顺、黄广号、 杨春燕、袁海、 邵领会、庞宝忠、 杨宇军、郝沅
16	论文	基于国产胶底部 填充工艺优化及 可靠性验证	中国	电子工艺技术	2024.09	/	西安微电子技术研究所	冯春苗、韩文静、 汤姝莉、袁海
17	论文	倒装焊后清洗工 艺及其对底部填 充的影响	中国	电子与封装	2021.07	/	西安微电子技术研究所	汤姝莉、赵国良、 张健、薛亚慧
18	论文	军用倒装焊器件 底部填充胶选型 与验证方法讨论	中国	电子与封装	2020.08	/	西安微电子技术研究所	冯春苗、张欲欣、 付博彬
19	论文	基于失效机理的 混合集成电路金 丝球超声键合可 靠性评价	中国	第二十三 届全国混合集成电路学术会 议	2025.09	/	西安微电子技术研究所	张军、王志勇、 郑东飞
20	论文	基于 BP 神经网络 的引线键合质	中国	航天微组 装中心	2020.12	/	西安微电子技术研	张军、张瑶

		量预测模型					究所	
21	论文	基于 TSV 倒装焊与芯片叠层的高密度组装及封装技术	中国	电子与封装	2022.08	/	西安微电子技术研究所	汤姝莉、赵国良、薛亚慧 袁海、杨宇军
22	论文	小样本条件下 SiP 模块的寿命预计技术研究	中国	第二十三届全国混合集成电路学术会议	2025.09	/	西安微电子技术研究所	李梦琳、郑东飞、张军、陈龙飞
23	论文	面向航天应用的高可靠小型化信息处理系统集成模块设计及制造	中国	第二十二届全国混合集成电路学术会议论文	2023.08	/	西安微电子技术研究所	汤姝莉、赵国良、刘宗溪

主要完成人情况：

姓名	排名	行政 职务	技术 职称	工作单位	对本项目贡献	专业
袁海	1	无	研 究 员	西安微电子 技术研究所	项目负责人，责从需求调研、 方案提出、研产实施到售后维 护的产品全生命周期开发工 作。	材料科学与 工程
李梦琳	2	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	产品负责人，提出了基于腔式 载板的异质器件的封装结构。	自动化
赵国良	3	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	工艺负责人，负责工艺方案制 定及实施，负责基于腔式载板 的非气密性组装机平台关键 技术攻关	微组装机 开发
张军	4	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	负责基于腔式载板的系统集成 结构热学、力学及多应力耦合 条件下的可靠性仿真，负责键 合工艺可靠性验证。	微组装机 工艺
陈龙飞	5	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	产品详细设计与可靠性提升， 编制标准《微电路模块设计工 艺基线》	电路与系统
薛亚慧	6	无	研 究 员	西安微电子 技术研究所	负责基于腔式载板的非气密 性组装机，编制标准《微电 路模块设计工艺基线》。	封装工艺
孙程程	7	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	负责电信号仿真及可靠性验证 工作	电路电子
雷雨辰	8	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	基于铜浆烧结工艺的腔式载板 工艺攻关	材料科学
汤姝莉	9	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	组装机及元器件质量技术负 责人	混合集成工 艺

梁乾	10	无	工 程 师	西安微电子 技术研究所	设计研发、测试系统设计	电力电子
----	----	---	-------	----------------	-------------	------

完成人合作关系说明：

基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术项目由西安微电子技术研究所独立开发研制，项目组成员有袁海、李梦琳、赵国良、张军、陈龙飞、薛亚慧、孙程程、雷雨辰、汤姝莉、梁乾。袁海作为项目负责人，负责项目的方案制定、设计研制、设计定型以及产品推广工作，李梦琳作为产品设计师，负责产品整体方案设计及实施，提出腔式载板封装方案。赵国良、张军、汤姝莉、薛亚慧均为项目的工艺研究，赵国良为本项目工艺负责人，负责工艺方案制定及实施，负责基于开腔有机基板的非气密性组装工艺平台关键技术攻关工作，负责用户处焊接技术支持等工作，张军负责基于腔式载板的系统集成结构热学、力学及多应力耦合条件下的可靠性仿真，负责键合工艺可靠性验证。薛亚慧、汤姝莉分别为项目焊接及基板负责人，以上工艺人员为微电路模块设计工艺基线的主要编写人。孙程程为项目参与者，主要负责电信号仿真及可靠性验证工作，参与提出一种用于混合集成电路寿命预计试验的测试芯片，有助于对系统集成结构的可靠性进行定量评估，参与编写微电路模块设计工艺基线。陈龙飞指导设计了 JBC01G 型总线控制 SiP 电路，完成项目的方案设计及实施，在该产品的研制过程中，进行大量的可靠性提升工作，参与编写微电路模块设计工艺基线。雷雨辰是项目有机基板研制生产负责人，在项目中担任腔式载板的研制及可靠性评估工作，提出了一种微波盲槽外形铣切方法，优化有机基板结构及材料，对有机基板的翘曲控制、耐久性考核等工作进行大量研究。梁乾在项目研制过程中参与设计研发、测试系统设计等工作。设计定型一款基于开腔有机基板的电机驱动模块，模块实现系统功能的同时，有效减小元器件布局尺寸，对基于腔式载板的系统级封装技术进行可靠性验证及推广使用，也为电机驱动类产品小型化、数字化、智能化提供解决方案。该项目在本人和九位主要完成人的合作下，保证了该项目的成功研制，

并形成了多项发明专利、标准规范及论文等。

1、 主要完成单位及创新推广贡献：

西安微电子技术研究所是本项目的主承单位，是国家唯一集计算机、集成电路和混合集成科研生产为一体的大型综合研究所。项目参与人员均为本单位职工。近年来充分利用计算机、集成电路和混合集成三大专业基础和资源优势，逐步形成了计算机、集成电路、混合集成三大产业齐头并进、军民融合、科学发展的良好格局。七七一所研制团队在充分调研市场需求的情况下，完成了模块的自主立项，启动了研制工作，形成了以设计、工艺、测试一体的研制团队，研制团队长期致力于基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装技术研究，开辟了一条高效、可靠、可规模生产的 SiP 模块集成新路径，形成了完整的批生产及筛选能力，建立了基于腔式载板的异质器件高可靠一体化封装工艺平台。整体技术达到国内领先、国际先进水平，已装配多个重点型号任务。同时，在七七一所市场部门的大力推广下，该模块及其衍生产品在国内多家单位完成了应用，形成了批量供货，经济效益可观。