

车规级芯片“零缺陷”质量管理体系构建研究

刘 娟

美光半导体（西安）有限责任公司 陕西西安

【摘要】在汽车智能化、电动化快速发展背景下，车规级芯片作为汽车电子系统核心，其质量直接关乎行车安全与产业竞争力。面对芯片生产工艺复杂、失效模式多样、环境适应性要求高等质量管控难题，构建“零缺陷”质量管理体系成为必然选择。围绕芯片全生命周期，从设计开发、生产制造、供应链协同、质量检测等环节入手，搭建“零缺陷”质量管理体系框架，明确各环节核心管控要点与技术手段，并提出组织、技术、文化等多维度实施保障策略。体系各环节协同优化，形成质量改进闭环，为车规级芯片产业质量提升提供理论与实践支撑。

【关键词】车规级芯片；零缺陷；质量管理体系；全生命周期；质量管控

【收稿日期】2025 年 5 月 14 日

【出刊日期】2025 年 6 月 5 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250260

Research on the construction of a 'zero defect' quality management system for automotive-grade chips

Juan Liu

Micron Technology, Inc. Xi'an, Shaanxi

【Abstract】In the context of the rapid advancement of automotive intelligence and electrification, automotive-grade chips, as the core of automotive electronic systems, directly impact driving safety and industrial competitiveness. Given the challenges of complex chip manufacturing processes, diverse failure modes, and stringent environmental adaptability requirements, establishing a 'zero defect' quality management system is essential. This study focuses on the entire lifecycle of chips, starting from design and development, production, supply chain coordination, and quality testing. It outlines the framework of a 'zero defect' quality management system, clarifies key control points and technical methods at each stage, and proposes implementation strategies from organizational, technical, and cultural perspectives. The coordinated optimization of all system components forms a closed loop for quality improvement, providing theoretical and practical support for enhancing the quality of the automotive-grade chip industry.

【Keywords】Automotive-grade chips; Zero defect; Quality management system; Full lifecycle; Quality control

引言

汽车产业正经历深刻变革，智能化、网联化趋势下，车规级芯片应用场景不断拓展，数量持续攀升。车规级芯片需在复杂工况下稳定运行，其质量直接影响汽车安全性、可靠性与用户体验。芯片制造流程精密复杂，涉及众多工序与技术环节，微小缺陷都可能引发严重后果。传统质量管理模式难以满足车规级芯片“零缺陷”要求，亟需构建一套科学完善的质量管理体系，以应对日益严峻的质量挑战，保障汽车产业稳健发展。

1 质量管控难题

车规级芯片质量管控的复杂性，源于其生产链条与应用场景的特殊性。在制造流程层面，芯片生产宛如精密的工业交响乐，晶圆制造需在近乎真空的无尘环境中完成，光刻环节对光线波长与曝光时间的把控精

度达到纳米级别，蚀刻过程稍有偏差就可能破坏芯片内部电路结构。这些工序环环相扣，任何细微的环境变化或操作误差，都可能像蝴蝶效应般引发质量隐患。光刻设备的微小震动可能导致光刻图案偏移，进而影响晶体管的正常功能，使得芯片在后期测试中出现性能异常。

从失效模式的角度来看，车规级芯片面临的风险如同变幻莫测的迷宫。电气性能失效可能表现为信号传输延迟、电流泄漏等问题，这些故障往往在芯片高负荷运行时才显现，难以在常规测试中被发现。物理结构损坏则更为隐蔽，封装过程中的应力不均可能导致芯片内部焊点开裂，随着车辆行驶过程中的持续震动，这种微观损伤会逐渐扩大，最终造成功能失效^[1]。更棘手的是，多种失效模式可能相互交织，使得故障诊断与根

源分析变得异常困难，传统的质量检测手段难以全面覆盖所有潜在风险。

汽车应用场景的严苛性，进一步加剧了质量管控的难度。在极寒的北方，芯片需要在零下 40 摄氏度的环境中保持稳定运行，内部材料的热胀冷缩特性稍有不达标，就可能引发电路断裂；而在高温的沙漠地区，芯片要承受 85 摄氏度以上的持续烘烤，电子元件的老化速度会大幅加快。车辆行驶过程中的强烈震动、车载电子设备间的电磁干扰，都对芯片的可靠性提出了极限挑战^[2]。与此汽车产业链的庞大与复杂，使得质量管控难以形成统一标准，供应商之间的质量水平参差不齐，信息传递的滞后性也容易导致问题被忽视或延误处理，传统的质量管理方法在如此复杂的环境下显得力不从心。

2 体系框架构建

构建车规级芯片“零缺陷”质量管理体系，需要在全生命周期的每个阶段植入精细化管控思维。在设计阶段，失效模式与效应分析（FMEA）和故障树分析（FTA）等工具犹如质量导航仪，帮助工程师提前预判潜在风险。通过系统性梳理芯片的功能模块与工作流程，FMEA 能够识别出每个环节可能出现的失效模式及其影响程度，从最细微的引脚设计到复杂的电路架构，都能进行深度评估。而故障树分析则以逆向思维，从可能出现的故障结果出发，层层剖析导致故障的直接与间接原因，帮助设计团队优化电路拓扑结构、调整材料选型，将缺陷扼杀在图纸阶段。这种前瞻性的设计优化，不仅能提升芯片性能，还能减少后期因设计缺陷导致的返工成本。

生产制造环节是将设计蓝图转化为高质量产品的关键战场，统计过程控制（SPC）技术在这里发挥着核心作用。通过实时监测生产过程中的关键工艺参数，如温度、压力、流速等，SPC 能够捕捉到参数的细微波动趋势，一旦发现异常，立即触发预警机制。生产团队可以及时调整设备参数或排查潜在问题，避免不合格产品的批量产生^[3]。引入先进制程技术与高精度制造设备，能够显著提升芯片生产的一致性与稳定性。采用更先进的光刻机和蚀刻设备，可以实现更小的晶体管尺寸与更精密的电路布局，降低因制造精度不足导致的缺陷概率。

供应链管理与质量检测环节，是质量管理体系的两道重要防线。在供应链端，建立严格的供应商准入机制是确保原材料质量的基础。企业需对供应商的技术能力、生产工艺、质量管理体系进行全方位评估，不仅

考察其当前的产品质量，还要评估其持续改进能力与应对突发风险的韧性。在合作过程中，通过定期审计与质量数据共享，对供应商进行动态监控，一旦发现质量波动，立即启动整改流程^[4]。在质量检测环节，采用在线检测与离线检测相结合的方式，构建起多层次的质量筛查网络。在线检测利用自动化设备对生产线上的芯片进行实时监测，能够快速识别外观缺陷与明显的性能异常；离线检测则借助高精度仪器对芯片进行深度分析，包括电气性能测试、结构完整性检测等，确保每一颗芯片都能满足车规级的严苛要求，从而形成从原材料到成品的全链条质量管控闭环。

3 体系实施保障

车规级芯片“零缺陷”质量管理体系的有效实施，离不开组织、技术与文化三大支柱的协同支撑。在组织层面，建立跨部门协同机制是打破质量管控壁垒的关键。传统的部门分工模式往往导致信息孤岛，设计部门追求性能优化，生产部门注重效率提升，而质量部门则以检测把关为主，各部门目标与利益的差异容易引发质量问题的推诿扯皮。通过设立跨部门质量委员会，将设计、生产、采购、质量等关键部门的负责人纳入其中，定期召开联席会议，共同制定质量目标与决策。这种扁平化的组织架构，能够实现问题的快速响应与高效解决，避免因沟通不畅导致的质量隐患，显著提升质量决策与执行的效率。

技术层面的创新，为质量管理体系注入了智能化的基因。人工智能与大数据分析技术的引入，使得质量管控从被动应对转向主动预防。通过收集生产过程中的海量数据，包括设备运行参数、质量检测结果、原材料特性等，利用机器学习算法建立质量预测模型。这些模型能够自动识别数据中的潜在规律，提前预测质量异常的发生概率与可能原因^[5]。当设备的某个关键参数出现异常波动趋势时，系统能够迅速分析出这可能导致的芯片性能问题，并给出相应的调整建议。通过图像识别技术对芯片外观进行自动化检测，不仅能够大幅提高检测效率，还能发现人类肉眼难以察觉的细微缺陷，实现质量管控的智能化升级。

质量文化的培育是质量管理体系落地生根的土壤。“零缺陷”理念不应仅仅停留在制度层面，更需要融入企业的每一个角落。通过开展系统化的质量培训，从基层员工到管理层，全面提升全员质量意识。培训内容不仅包括质量管理工具与方法的应用，还涵盖质量文化理念的宣导，让员工深刻理解“零缺陷”对产品安全与企业声誉的重要意义。建立科学的质量考核机制，

将质量指标纳入员工绩效考核体系,对表现优秀的个人与团队给予奖励,对出现质量问题的环节进行责任追溯与改进^[6]。通过持续的文化熏陶与制度激励,在企业内部形成“人人重视质量、事事追求卓越”的浓厚氛围,使“零缺陷”成为每个员工的自觉行动准则。

4 体系动态优化

车规级芯片“零缺陷”质量管理体系并非一成不变的静态框架,而是需要随着技术发展与市场需求动态演进的生态系统。搭建质量信息共享平台,是实现体系动态优化的基础设施。该平台如同企业的质量中枢神经,将设计、生产、供应链、检测等各个环节的数据进行整合与贯通。通过标准化的数据接口与实时通信技术,不同部门之间能够快速获取所需的质量信息,避免因信息滞后导致的决策失误。

大数据分析建模技术为质量体系的优化提供了精准导航。通过对海量质量数据的深度挖掘,能够发现隐藏在数据背后的质量规律与潜在问题。通过分析不同批次芯片的失效模式与生产参数之间的关联,可能发现某个工艺环节的参数波动与特定失效模式存在显著相关性,从而为工艺优化提供明确方向^[7]。利用机器学习算法构建质量预测模型,可以对未来生产过程中的质量趋势进行预判,提前采取预防措施。通过模拟不同质量管控策略的实施效果,能够为管理决策提供科学依据,帮助企业在质量提升与成本控制之间找到最佳平衡点。

基于数据分析的结果,对质量管控流程、技术标准与管理策略进行动态调整,是实现体系持续优化的核心路径。随着芯片技术的不断迭代与汽车行业需求的变化,原有的质量管控流程可能不再适应新的生产要求,此时需要及时对流程进行精简或重构^[8]。技术标准也需与时俱进,例如随着芯片集成度的提高,对检测精度的要求也相应提升,企业需要更新检测设备与方法标准。管理策略方面,通过引入新的质量管理工具或借鉴行业最佳实践,不断完善管理体系。通过这种持续改进的循环机制,质量管理体系能够始终保持对产业发展的适应性,推动车规级芯片质量向更高水平迈进。

5 结语

车规级芯片“零缺陷”质量管理体系的构建为产业质量提升提供重要路径。当前已形成涵盖全生命周期的管理框架与实施策略,但汽车产业技术迭代加速,对芯片质量提出更高要求。未来,需进一步融合5G、物联网、量子计算等新兴技术,推动质量管理体系智能化、数字化转型;加强国际间质量标准协同,促进产业全球化发展;持续探索创新质量管控模式与方法,以应对复杂多变的质量挑战,助力车规级芯片产业迈向高质量发展新台阶。

参考文献

- [1] 梁元聪,金星,卢万成.发挥长三角区域优势,助力车规芯片国产化[J].上海汽车,2025,(05):1-3+13.
- [2] 盛方辉,梁澎坚,马宝光,等.车规级芯片封装界面可靠性研究进展[J/OL].汽车工艺与材料,1-12[2025-06-23].
- [3] 徐宏坤,杜新,杨利华,等.车规级芯片信息安全温度干扰测试模型研究[J].中国集成电路,2024,33(11):74-77+86.
- [4] 刘玉莹,陈超,吴海文,等.面向车规级芯片产品的安全可靠认证方案研究[J].标准科学,2024,(10):60-64.
- [5] 张微,刘天宇.新能源汽车车用芯片国产化技术瓶颈及发展建议[J].金属功能材料,2024,31(05):132-138.
- [6] 郁骏.特种器件低成本替代可行性研究[J].环境技术,2024,42(08):42-48.
- [7] 方红燕,李惠.我国车规级芯片发展概况、问题及对策研究[J].汽车与配件,2024,(12):40-43.
- [8] 张胜强,李明阳,翟瑞卿,等.基于正交算法的车规级芯片耦合故障研究[J].现代信息科技,2024,8(12):23-26.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

