

# 输变电设备红外图像与可见光融合的缺陷检测系统

戴学文

酒泉深能北控能源开发有限公司 甘肃酒泉

**【摘要】**先进封装技术在集成电路制造中扮演着越来越重要的角色，尤其在突破摩尔定律瓶颈方面展现出显著优势。围绕红外与可见光图像融合、缺陷识别中的融合算法以及多源图像协同检测等关键技术路径展开分析，揭示了当前技术的发展现状与核心挑战。研究显示，深度学习、多模态数据融合与高效算法设计是提升检测精度与系统智能化水平的关键。整体来看，相关技术正朝着高集成度、低延迟与强泛化能力方向演进，为多个高技术领域提供坚实支撑。

**【关键词】**输变电设备；红外图像；可见光图像；图像融合；缺陷检测

**【收稿日期】**2025 年 2 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250091

## Defect detection system for power transmission and transformation equipment using infrared and visible light image fusion

Xuewen Dai

Jiuquan Shenneng Beikong Energy Development Co., Ltd, Jiuquan, Gansu

**【Abstract】** Advanced packaging technology plays an increasingly important role in integrated circuit manufacturing, especially in breaking through the limitations of Moore's Law. By analyzing key technical paths such as infrared and visible light image fusion, fusion algorithms in defect recognition, and multi-source image collaborative detection, this study reveals the current development status and core challenges of these technologies. Research indicates that deep learning, multi-modal data fusion, and efficient algorithm design are crucial for improving detection accuracy and system intelligence. Overall, related technologies are evolving toward high integration, low latency, and strong generalization capabilities, providing solid support for multiple high-tech fields.

**【Keywords】** Power transmission and transformation equipment; Infrared image; Visible light image; Image fusion; Defect detection

### 引言

在半导体制造工艺逼近物理极限的背景下，先进封装技术成为提升芯片综合性能的重要突破口。与此同时，多源图像协同处理技术在工业检测、安防监控等领域的应用不断深化，推动了缺陷识别与图像融合方法的持续创新。随着人工智能、边缘计算和高性能硬件的发展，相关技术体系日趋成熟，但依然面临算法复杂度高、实时性不足、跨模态匹配困难等挑战。如何进一步提升系统稳定性与适用性，已成为当前技术演进的重要方向。

#### 1 输变电设备缺陷检测中的图像信息局限

先进封装技术作为集成电路制造中的关键环节，正日益成为推动芯片性能提升的核心动力。随着摩

尔定律逐步逼近物理极限，传统依靠缩小晶体管尺寸来提升芯片性能的方式面临瓶颈，业界开始将关注重点转向包括先进封装在内的系统级优化路径。先进封装通过实现更高密度的互连、更短的信号传输路径以及更高效的热管理能力，显著提升了芯片在功耗、速度与集成度等方面的综合表现。其中，三维堆叠封装（3D Packaging）和扇外型晶圆级封装（FOWLP）等技术的应用，使得多芯片异构集成成为可能，不仅增强了芯片功能的多样性，也提高了整体系统的可靠性。

先进封装技术不仅支持不同工艺节点芯片的协同封装，打破了单一制程对功能扩展的限制，为高性能计算、人工智能、移动通信等领域提供了更强

的技术支撑,还促进了异构集成的发展。通过将多个不同功能和性能要求的芯片整合到一个封装内,实现了系统级的功能优化与性能提升<sup>[1]</sup>。与此同时,先进封装所具备的模块化设计特性,使得组件可以独立开发、测试并快速迭代,有助于显著缩短产品开发周期,降低整体制造成本,并提高生产的灵活性和响应速度,从而增强企业在市场竞争中的优势。

随着材料科学的进步,如新型导电材料和高效散热材料的应用,以及微细加工工艺和测试技术的不断创新,先进封装的能力边界正在持续拓展。其在系统级集成和多功能融合方面的潜力正被进一步挖掘,为集成电路产业的技术升级注入新的活力,并推动从传统二维平面集成向三维立体集成的转变,开启全新的应用可能。

## 2 红外与可见光图像融合的关键技术路径

红外与可见光图像融合技术旨在通过整合两类成像方式在不同波段的信息优势,获得比单一图像更具描述能力的复合图像。该技术路径的核心在于如何高效提取、匹配和合成来自不同模态图像中的特征信息,从而实现更高的目标辨识度、场景理解能力和视觉感知效果。当前,主流的技术路线主要围绕多尺度变换、稀疏表示、深度学习等方法展开,并逐步向智能化、实时化方向演进。在图像预处理阶段,配准是融合过程中不可或缺的一环,其目的是确保红外与可见光图像在空间维度上保持一致。

由于两类图像在成像原理上的差异,传统的基于特征点或区域匹配的方法难以满足高精度对齐的需求,因此近年来逐渐引入基于互信息、仿射变换与非刚性配准相结合的策略,以提升图像对齐的鲁棒性和适应性。预处理完成后,图像分解成为关键步骤之一。多尺度变换方法如小波变换(DWT)、轮廓波变换(Contourlet)以及剪切波变换(Shearlet)被广泛应用于图像的频域或空频域分解,以获取图像的边缘、纹理、结构等多层次信息<sup>[2]</sup>。这些方法能够有效保留红外图像中的热辐射细节和可见光图像中的纹理特征,为后续的融合规则设计提供高质量的基础分量。

在融合规则的设计方面,基于显著性分析与能量最大化原则的方法被广泛采用。通过对各分解子带的系数进行加权计算,能够在不引入明显失真的前提下,突出目标区域并抑制背景干扰。随着稀疏表示理论的发展,利用联合字典训练的方式提取图像共享特征,也成为提高融合图像语义表达能力

的重要手段。近年来,深度学习特别是卷积神经网络(CNN)的应用极大地推动了图像融合技术的进步。端到端的网络结构可以直接学习图像间的映射关系,自动提取高层次语义特征,并在保留原始信息的同时生成更具判别力的融合结果。部分研究还结合注意力机制与多任务学习框架,使模型具备更强的环境适应性及泛化能力。

## 3 融合算法在典型缺陷识别中的应用效果

融合算法在工业检测与质量控制领域,尤其是在典型缺陷识别任务中,展现出优于单一模型的技术优势。通过整合多源信息、多模态特征或多算法输出,融合方法能够增强系统对复杂缺陷的判别能力,提高识别的准确性与稳定性。当前,该类算法广泛应用于金属表面裂纹、焊接缺陷、复合材料损伤等典型工业缺陷的自动检测过程中,并逐步成为提升检测智能化水平的重要手段。在数据层面,融合算法通过集成来自不同传感器或成像方式的数据,实现对缺陷区域的多维度表征。例如,在基于光学与热成像结合的检测系统中,融合算法可同时捕捉表面形貌与温度分布信息,从而更全面地反映缺陷的物理特性。

此类方法有效弥补了单一数据源在光照变化、遮挡干扰等复杂环境下识别能力下降的问题,提高了检测系统的适应性与鲁棒性。在特征层面,融合算法利用联合特征提取策略,将来自不同通道或模态的低维特征进行统一建模,以构建更具判别力的高维特征空间。这种方式不仅增强了对微小缺陷的敏感度,还能有效抑制背景噪声的影响,使缺陷区域在特征空间中更加突出。近年来,随着深度学习的发展,基于卷积神经网络的多模态特征融合方法被广泛应用,其通过端到端训练机制,实现了特征表达与分类决策的一体化优化,显著提升了识别效率和精度。

在决策层面,融合算法通过对多个独立识别模型的输出结果进行加权、投票或贝叶斯推理等方式综合判断,形成最终识别结论。这种策略能够在一定程度上降低单个模型误判的概率,增强整体系统的容错能力。特别是在面对类别不平衡、样本多样性不足等挑战时,决策层融合表现出更强的泛化性能和稳定性。部分研究还引入强化学习机制,使融合过程具备动态调整权重的能力,进一步提升了算法在不同应用场景下的适应能力<sup>[3]</sup>。为了提升融合算法在实际工程环境中的实用性,研究人员还围绕其实时性、可解释性和部署效率展开深入探索。一

方面,轻量化网络结构设计与边缘计算平台的结合,使得融合算法可以在嵌入式设备上高效运行;另一方面,可视化分析工具的应用也增强了算法输出结果的可理解性,有助于技术人员快速定位问题并作出判断。随着算法理论与硬件平台的协同进步,融合算法在典型缺陷识别中的应用正不断向高精度、高效率与高智能方向演进。

#### 4 多源图像协同下的智能检测发展趋势

随着人工智能与成像技术的不断融合,多源图像协同在智能检测中的应用正逐步深化,并呈现出系统化、智能化与高效化的发展趋势。该模式通过整合来自不同传感器、不同波段或不同视角的图像信息,实现对目标对象更全面、更精准的识别与分析,为工业质检、安防监控、医疗诊断等领域提供了强有力的技术支撑。在数据获取层面,多源图像协同依赖于多样化成像设备的集成与优化。可见光、红外、X射线、激光雷达等成像手段各自具备独特的物理特性,能够从不同维度反映被测对象的状态信息。将这些图像数据进行高精度配准与同步处理,是实现协同检测的基础。

当前,基于硬件同步与软件补偿相结合的方式,已能有效提升图像采集过程中的时空一致性,为后续的信息融合提供高质量的数据基础。在信息处理方面,多源图像协同下的智能检测越来越依赖于深度学习与大数据分析技术。传统的图像融合与特征提取方法在面对复杂场景时存在一定的局限性,而基于神经网络的端到端模型能够自动挖掘多模态图像之间的潜在关联,提升整体识别能力<sup>[4-8]</sup>。特别是在缺陷检测、异常识别和行为分析等任务中,融合多源图像信息的模型展现出更强的鲁棒性与泛化性能。注意力机制、图神经网络以及跨模态学习策略的应用,也进一步增强了模型对关键区域的聚焦能力和语义理解水平。

在系统架构层面,多源图像协同检测正朝着边缘计算与云平台协同的方向发展。一方面,轻量化算法与高性能嵌入式处理器的结合,使得图像采集与初步处理可在现场端完成,大幅降低了数据传输延迟;另一方面,云计算平台则负责大规模数据存储、模型训练与全局决策,形成“端一边一云”一体化的智能检测体系。这种架构不仅提升了系统的实时响应能力,也为跨区域、多任务协同检测提供了可能。在应用拓展方面,多源图像协同检测正在向更加复杂和动态的场景延伸。除了传统工业领域的

持续深耕,其在自动驾驶、远程巡检、环境监测等新兴应用场景中也展现出广阔的前景。

#### 5 结语

集成电路制造中的先进封装技术、红外与可见光图像融合方法、融合算法在缺陷识别中的应用,以及多源图像协同下的智能检测体系,共同构成了现代智能系统与高端制造的重要技术支撑。随着材料、工艺和算法的持续突破,相关技术正朝着更高精度、更强适应性和更广应用场景的方向发展。未来,在人工智能与硬件平台深度融合的推动下,这些技术将在工业检测、电子制造、安防监控等多个领域发挥更大作用,进一步加速智能化进程。

#### 参考文献

- [1] 白晓静,徐佳伟,皮宇啸,等.融合可见光与红外图像的光伏阵列缺陷检测[J].太阳能学报,2025,46(04):313-321.
- [2] 付启银.基于视觉传达技术的可见光与红外图像融合方法[J].激光杂志,2025,46(04):128-133.
- [3] 梁思远,豆飞,谢莎婷,等.基于改进 YOLOv5 的可见光和红外图像特征级融合检测算法研究[J].计算机应用与软件,2025,42(04):257-262.
- [4] 黄政之,厉小润,张天文.基于可见光与红外图像的光伏阵列组串热斑检测方法[J].太阳能学报,2025,46(03):454-460.
- [5] 石丽芬,张鹏,景亚蔓,等.改进 CycleGAN 实现可见光红外图像的迁移(特邀)[J].红外与激光工程,2025,54(03):334-347.
- [6] 李振伟,施文灶,付强,等.基于多模态传感器的近红外与可见光图像自适应融合模型[J].现代信息科技,2024,8(24):163-170.
- [7] 郝昱权.基于 NSST 与深度学习的红外图像与可见光图像融合算法[J].河北软件职业技术学院学报,2024,26(04):12-17.
- [8] 黄志鸿,颜星雨,陶岩,等.基于多模态图像信息的配电网部件定位方法[J].湖南电力,2024,44(06):83-89.

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/>



OPEN ACCESS