

薄膜半导体材料环境失效的准原位 XPS 分析方法

严楷¹, 郭佳睿², 李夏¹, 庄敏¹, 陈瑜¹, 白杰¹

(1.广东工业大学分析测试中心, 广州 510006; 2.广东工业大学材料与能源学院, 广州 510006)

摘要: 处于使用和贮存状态的薄膜半导体材料因其经历的自然和诱导环境因素而引起器件的性能退化甚至失效, 进而影响器件甚至整个系统的可靠性。目前对于环境失效行为的研究方法都很难捕获实时或准实时的表面成分及价态信息, 难以判断其早期失效的行为特性以及深入掌握其失效机理。利用准原位 X 射线光电子能谱 (XPS) 分析方法能够获取薄膜半导体材料准实时的表面成分及化学态信息, 更加系统地剖析早期失效行为特性并分析其失效机理, 对设备设计与生产过程中薄膜半导体材料体系的合理选择、设计改进以及提高电子芯片的环境适应性与可靠性具有重要意义。

关键词: 准原位 X 射线光电子能谱; 环境失效; 薄膜半导体; 表面分析; 扩散机理

Quasi *in-situ* XPS Method for Environmental Failures in Thin-Film Semiconductor Materials

Yan Kai¹, Guo Jiarui², Li Xia¹, Zhuang Min¹, Chen Yu¹, Bai Jie¹

(1. Analysis and Test Center, Guangdong University of Technology, GuangZhou 51006, China; 2. School of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, GuangZhou 51006, China)

Abstract: Thin-film semiconductor materials in use and storage are subjected to natural and induced environmental factors that cause degradation or even failure of the devices, thus affecting the reliability of the devices or even the whole system. Current research methods for environmental failure behavior are difficult to capture *in-situ* or quasi *in-situ* surface composition and valence information, which makes it difficult to determine the behavior characteristics of early failure and grasp the failure mechanism in depth. The use of quasi *in-situ* X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) analysis method can obtain the quasi *in-situ* surface composition and chemical state information of thin film semiconductor materials, and analyze the characteristics and failure mechanism of the early failure behavior more systematically, which is of great significance the rational selection and design improvement of thin film semiconductor material

system in the process of equipment design and production, as well as to improve the environmental adaptability and reliability of the electronic chips.

Keywords: quasi *in-situ* X-ray photoelectron spectroscopy; environmental failure; thin-film semiconductor; surface analysis; diffusion mechanism

1 前言

薄膜半导体材料的应用覆盖了所有装备行业的电子器件和设备,随着空间技术的高速发展,在航天、航空器件的微型机电系统中也得到广泛使用,例如以继电器,制动器,射频电路以及混合开关形式存在的微型智能综合系统^[1]。多层金属薄膜层主要是由金、银、铜、镍的镀层组成,这些都是导电性能良好的材料,具有较好的化学惰性以满足服役于各种特殊环境的需求^[2]。随着纳米技术的高速发展以及器件微型化需求的增加,金属薄膜半导体材料可作为关键材料承担接通、断开电路及负载电流的任务,薄膜材料的稳定性能决定了电器开关的通断性能以及接触可靠性。一般来说,处于使用和贮存状态的薄膜器件会因其经历的自然环境因素(温度、湿度、盐雾、降水、霉菌、沙尘等)和诱导环境因素(机械因素、大气污染、辐射效应等)而引起自身材料的老化、腐蚀及内部应力的变化,造成器件的性能退化甚至失效,导致电子元器件使用和贮存可靠性的降低^[3]。因此,对特定环境下金属薄膜半导体材料及器件使用以及贮存可靠性的测试和评估研究已成为电子元器件可靠性工作越来越重要的问题。

目前国内外有关薄膜半导体材料腐蚀失效机理及腐蚀失效防护的研究,往往采用宏观检测方法而多用于腐蚀失效发生后的分析,针对这种失效的评价方法也大多停留在宏观层面,难以用于失效的早期分析^[4]。表面分析技术弥补了这方面的不足,它的最大优势在于分析检测的表面深度非常浅,从亚原子(分)子单层到几个纳米(结合离子溅射、真空断裂等也可达体相),检测的样品区域限于样品表面薄层,具有很高的检测灵敏度。X射线光电子能谱仪(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)是研究材料表面和界面的化学组成及其电子态的重要分析技术之一,可提供有机聚合物、无机物、金属、半导体等样品表面层的元素定性、定量信息以及化学状态等信息。同时,通过真空互联与其他分析技术进行功能拓展,可实现原位/准原位分析从而获取材料表面的实时/准实时信息,现已在多相催化研究领域中得到充分应用,在原子/分子水平上对催化材料的表面组成与结构及其催化作用的研究是催化科学发展的重要内容^[5]。