

### 特点描述

- ◆ 可用于 IC 卡的故障分析、质量改善、研发等多种目的。
- ◆ 可将 IC 芯片的布线图及其构成元素可视化。

### 前言

IC 卡有两种类型，包括信用卡和 ETC 卡中使用的接触式卡以及 IC 卡乘车卡中使用的非接触式卡，广泛应用于金融、交通、服务等各种行业。

IC（集成电路）通过用金属线连接晶体管等元件制造而成。随着小型化的发展，布线的宽度和厚度已减小到数百纳米，而布线长度最长可达数百米以上。若这些线路发生断线或接触故障，则 IC 无法工作。此外，封装基板时若出现裂纹等，则会导致发生故障。因此，评估材料本身的可靠性和结构，研讨制造工艺非常重要。

本文介绍了使用电子探针显微分析仪 EPMA™ (EPMA-8050G) 对接触式 IC 卡的截面以及 IC 芯片的布线图进行元素面分析的示例。

### 接触式 IC 卡的元素分析

接触式 IC 卡是一种在由聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 等制成的卡片基材上搭载 IC 芯片的卡片，表面具有接触端子，通过与专用读写器接触供应工作电源。接触端子由厚度约为 0.1 μm 的金 (Au) 制成，以 1 ~ 3 μm 厚的镍 (Ni) 层为基底电镀形成。

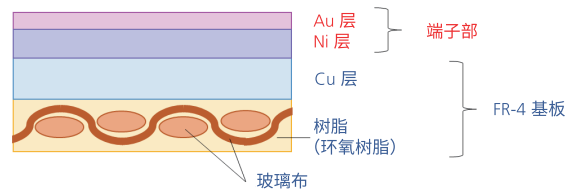


图 1 IC 卡的端子部和 FR-4 基板

端子的下部具有被称为覆铜箔层压板 (Copper Clad Laminate、CCL) 的基板。IC 卡中使用的基板采用玻璃环氧树脂 (FR-4) 材料制成，是最为常见而又通用的材料。

图 1 所示为 IC 卡的端子部和 FR-4 基板的结构。

FR-4 采用在玻璃布中含浸热硬化环氧树脂的层上涂覆铜箔的结构。玻璃布由 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 等氧化物组成，在高温条件下也不会像树脂一样出现变形，因此可抑制冲压加工时线路位置的偏移和空隙的形成。环氧树脂是分子链带有环氧基的热固性聚合物，具有多种特性。其中包括防止高压线路和零部件着火的阻燃性，有时也会添加溴化阻燃剂。铜属于难焊接金属，对环氧树脂的附着力低，因此为提高附着力，会在与环氧树脂的附着面添加数 μm 左右的凹凸，进行粗糙面处理，或在环氧树脂内添加分子链中包含硫磺的改性剂。

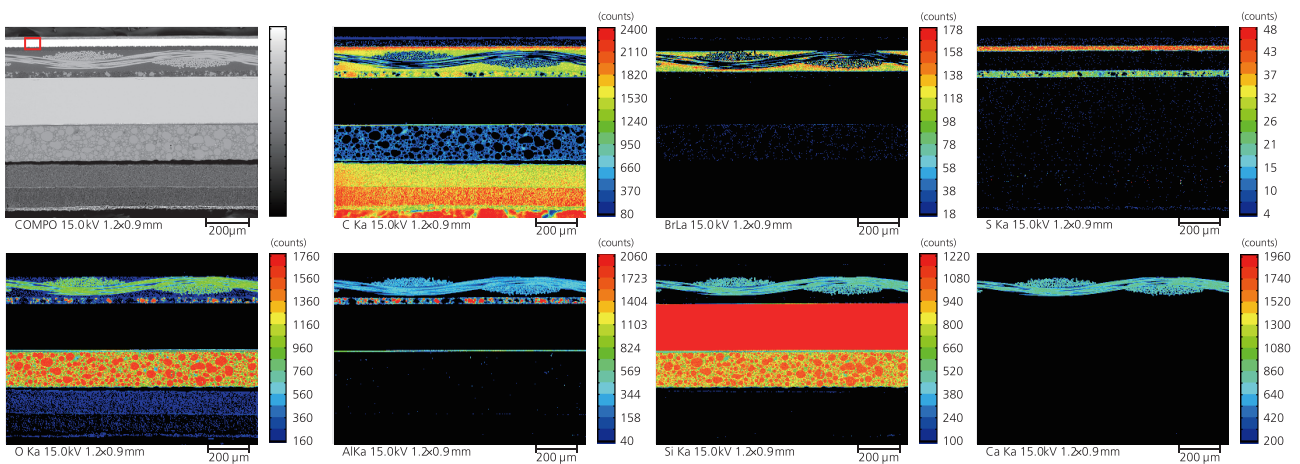


图 2 接触式 IC 卡截面的元素面分析 (整体图像)

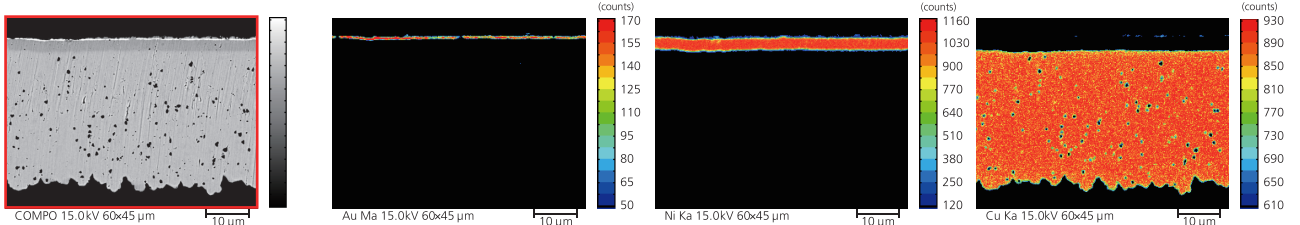


图 3 接触式 IC 卡截面端子部的元素面分析 (图 2 红框的放大图)

图2为IC卡截面的整体图像。在玻璃布部分观察到氧(O)、铝(Al)、硅(Si)和钙(Ca)，其周围为环氧树脂中的碳(C)、氧(O)和溴(Br)。此外，在放大端子部的图3中，从表层开始依次分布有金(Au)、镍(Ni)、铜(Cu)，在Cu的环氧树脂侧发现有数μm凹凸的情况。

IC位于上述FR-4基板下方。IC芯片是在厚度约为300μm的超高纯度单晶硅基板中形成大量元件并用Al线路连接而成的。通常情况下，由于单个芯片过小不易处理，而且因损伤腐蚀等容易引起缺陷，因此将其进行封装。封装的密封剂采用热膨胀率低、流动性和填充性优异的0.1~100μm二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)球状粒子和树脂的混合物。在图2中，在单晶硅基板中观察到Si，其表层具有线路Al层。

## IC芯片线路布局的元素分析

在IC芯片中，电气连接元件间的线路采用电阻较小、加工性较高的Al。此外，用于隔离元件的元件隔离膜采用优质绝缘体SiO<sub>2</sub>。

Al与SiO<sub>2</sub>之间具有势垒金属，可抑制两种材料之间的反应并提高互连的可靠性，在Al线路中主要采用氮化钛(TiN)。而随着装置小型化，线路已出现多层化，目前采用钨(W)等高熔点材料在垂直方向上实现线路连接。此外，芯片最外层具有以致密氮化硅(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)形成的钝化膜，可防止损伤或混入杂质等。

图4、5所示为IC芯片的布线图。从图4中可看出层压的Al线路通过W插头纵向连接，其周围检测出来自绝缘层的Si和O。此外，最外层中检测出钝化膜的成分，在放大的图5中可看出Al与Si之间存在势垒金属TiN。而使用图4的Overlay进行RGB叠加显示后，可更轻松地识别各层，其中Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>为洋红色，TiN为橙色等。

## 结论

本文使用EPMA，对IC卡截面以及IC芯片的布线图进行了元素面分析。通过低倍大范围面分析掌握了卡片整体的结构和各元素的分布情况。此外，在高倍面分析中，实现了布线图中各层和元素对应关系的可视化。EPMA是材料可靠性评价和产品缺陷分析等的有效工具。

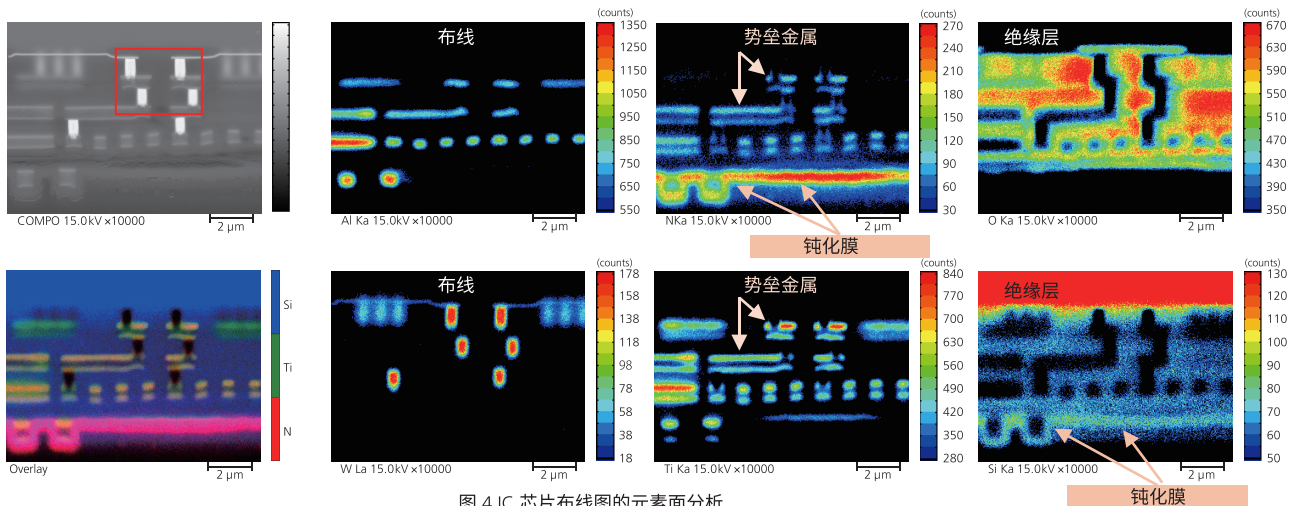


图4 IC芯片布线图的元素面分析

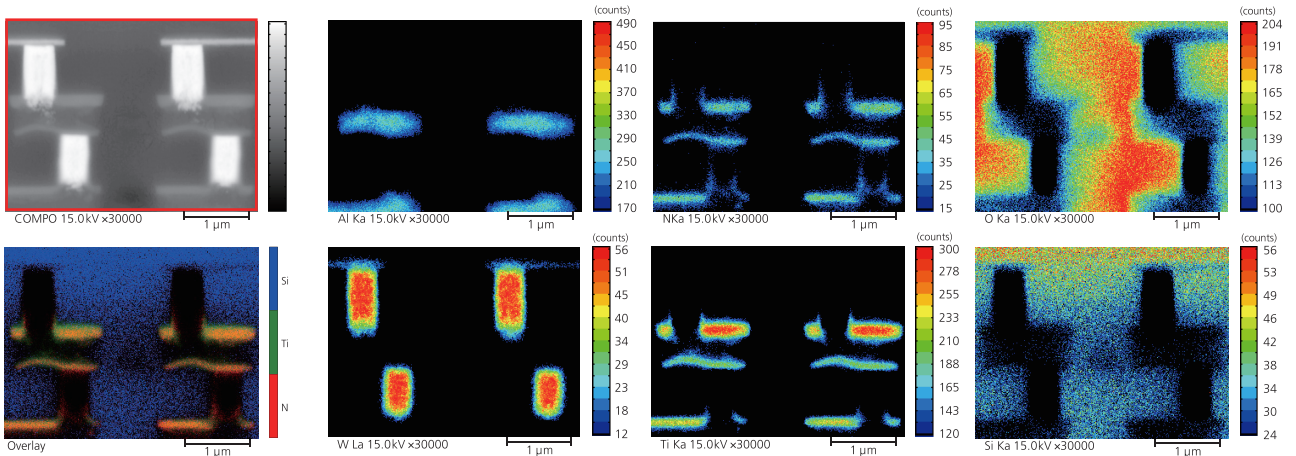


图5 IC芯片布线图的元素面分析(图4的放大图)

<参考文献>

- 1) 远藤伸裕等：半导体制造基础材料，工业调查会，190(2002)
- 2) 菊地正典：最新半导体信息，日本实业出版社，230(2006)

- 1) 前田真一：层压基板(第2篇)——随树脂、玻璃布等材料的细微差异而变化的特性，@ele, p-ban.com, <https://www.atmarkete.com/articles/155> (参考时间2021年7月1日)

岛津应用云



EPMA是岛津制作所株式会社或其相关公司在日本及其他国家/地区的商标。



岛津企业管理(中国)有限公司  
岛津(香港)有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话：800-810-0439  
400-650-0439

免责声明：

\* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；  
\* 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。  
如有变动，恕不另行通知。

第一版发行日：2021年9月