

# IC 载板成品合格率建模研究

## Research on IC Substrate Final Yield Ratio Model

陈金龙

Jinlong Chen

西南交通大学 中国·四川 成都 610031

Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, 610031, China

**摘要:** 论文分析了 IC 载板新一代产品的成品合格率的影响因子, 并通过统计学相关性分析找出主要影响因子。使用最小二乘法对合格率建模, 讨论预测了此产品的最优合格率。同时构建了合格率异常的防呆措施、可视化管理, 达到提前反馈及时改善的目的。此模型的构建与完善, 可显著增加行业的竞争力。

**Abstract:** This paper analyzes the influence factor of the qualified rate of IC products and found the main influence factors by statistical correlation analysis. We model the pass rate using least squares and predict the optimal pass rate of this product. At the same time, anti-stay measures and visual management with abnormal qualified rate were constructed to achieve the purpose of advance feedback and timely improvement. The construction and improvement of this model can significantly increase the competitiveness of the industry.

**关键词:** 最小二乘法; 合格率建模; IC 载板; 相关性分析

**Keywords:** least square method; qualified rate model; IC substrate; correlation analysis

**DOI:** 10.12346/etr.v3i9.4221

## 1 引言

电子科技发展水平逐渐成为一个国家经济发展的强有力的后盾。华为孟晚舟事件, 面对美国的打压, 中国需要有更先进的电子科技水平的发展, 满足电子发展领域“一带一路”战略需求, 为全球经济新布局提供助力。

IC 载板的需求量主要来自美国超威半导体公司(AMD)、英特尔(Intel)、高通(Qualcomm)、英伟达(NVIDIA)、日月光集团等; 设计领域各家处于技术封闭状态。IC 制造方面, 主要供应商有台积电(中国台湾)、深南电路(中国大陆)、欣兴电子(中国台湾)、Ibiden(日本)及奥特斯(奥地利)等。目前笔者所在公司在与独家客户的密切合作过程中, 制造技术已经是全球的先进水平<sup>[1]</sup>。

面对客户新产品的开发需求, 研究出成品合格率的主要影响因子并准确预测新产品的合格率。以可视化管理方式提前探测异常及改善成品良率<sup>[2]</sup>。

面对竞争对手的技术压制(日月光完成 7nm 工艺开发),

笔者所在公司配合客户完成了新产品  $\delta$  的工艺流程优化, 综合性能提升, 以此与竞争对手相抗衡。对此类产品的完成了成品合格率建模研究, 并建立了可视化防呆系统; 快速反应并执行有效措施, 提升了行业竞争力<sup>[3]</sup>。

## 2 IC 载板制造价值链简介

### 2.1 工艺简介

这里提到的价值链是 IC 载板制造的全部生产工艺流程, 论文提到的新产品, 包含了 480 个生产步骤, 为避免赘述, 在下面重点介绍关键工艺流程。下面是笔者所在公司自行贴电容及硅晶元, 正面完成植锡球的 IC 载板成品(见图 1~图 3)。

图 3 是笔者所在公司新一代产品的截面示意图; 使用半加成法制作前八次压合介电层。第九次压合后, 镭射制作 Cavity 后将黑色模块埋入, 模块上方的镭射孔为 25 $\mu$ m, 其他区域为 45 $\mu$ m。同时电镀填两种类型的盲孔。

【作者简介】陈金龙(1987-), 男, 中国湖北钟祥人, 在读硕士, 从事项目管理研究。

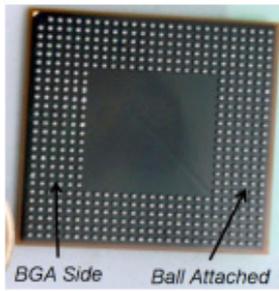


图 1 IC 载板正面

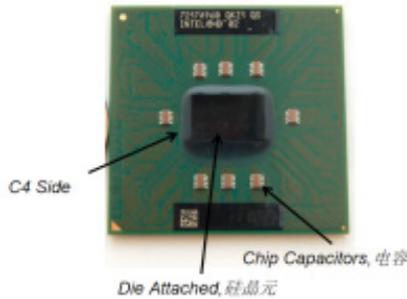


图 2 IC 载板背面

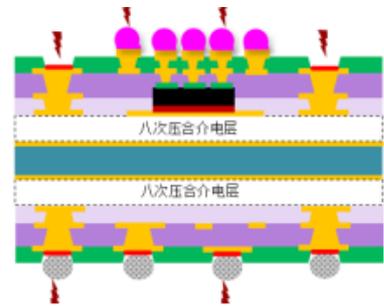


图 3 截面示意图

## 2.2 合格率鱼骨图分析

通过影响成品合格率的各个环节,得到关键的薄弱环节,重点改善。初步的鱼骨图<sup>[4]</sup>分析如图 4 所示。

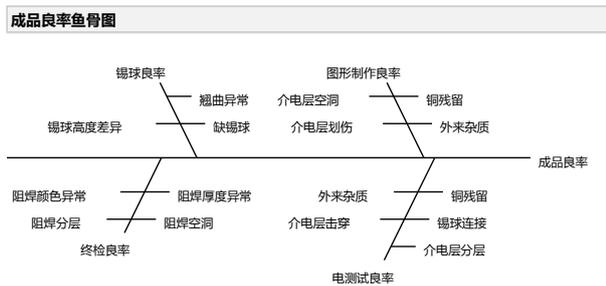


图 4 鱼骨图分析

成品合格率受图形制作合格率,电测试合格率,锡球合格率及终检合格率四大模块的影响。从产品工艺难点推测内层的图形合格率及外观合格率是成品合格率的主要影响因素,具体参考下面的详细分析。

## 3 产品合格率的建模分析

### 3.1 源数据 (JMP) 初步分析

成品合格率与其他各类合格率随时间趋势如图 5 所示。

我们可以看到,锡球合格率及终检合格率为 2020 年 11 月前存在波动,内层总合格率及电测试合格率相对稳定。但锡球合格率和终检合格率两部分,持续研究其稳定性(此部分会在其他论文中详细研究)。

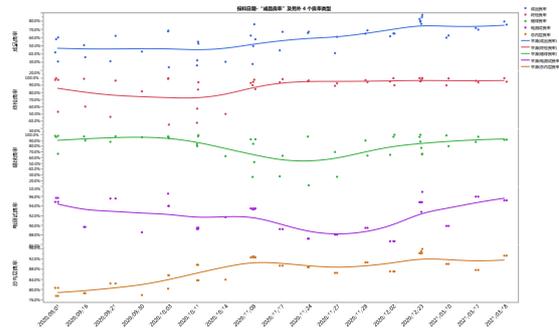


图 5 成品合格率及其影响因子趋势图

### 3.2 成品合格率与各类合格率的相关性分析

因合格率数据为离散型数据,为非正态分布,可使用最小二乘法来对数据进行估计<sup>[5]</sup>。不同类型合格率间无交互作用,删除部分无相关性的因子,去除噪声,可让模型更有效。得到效应汇总表如表 1~表 3 所示。

根据失拟检验结果可知,失拟误差小于总误差如下;拟合汇总中的“调整 R 方”为 0.728,综合判定此拟合有效。

根据此模型的拟合结果,得到模型的预测表达式如下所示:

基于现有的 45 组数据,得到的四种合格率目前最优组合(总内层合格率 87.63%,电测试合格率 91.99%,锡球合格率 80.6%,终检合格率 87.9%);最大意愿的(最优的,可改善的最理想状态)成品合格率为 82% 组合(总内层合格率 95.89%,电测试合格率 96.95%,锡球合格率 99.70%,终检合格率 99.90%)如图 6、图 7 所示。

表 1 效应分析图

效应汇总		
源	LogWorth	p 值
终检良率	8.871	0.00000
总内层良率	3.951	0.00011
锡球良率	1.148	0.07114
电测试良率	0.929	0.11780

表 2 失拟分析

失拟				
源	自由度	平方和	均方	F 比
失拟	39	0.31032262	0.007957	0.4842
纯误差	1	0.01643484	0.016435	概率>F
总误差	40	0.32675747		0.8414
				最大 R 方
				0.9876

表 3 拟合汇总

拟合汇总	
R 方	0.752884
调整 R 方	0.728172
均方根误差	0.090382
响应均值	0.5832
观测数 (或权重和)	45



图 6 建模拟合方程

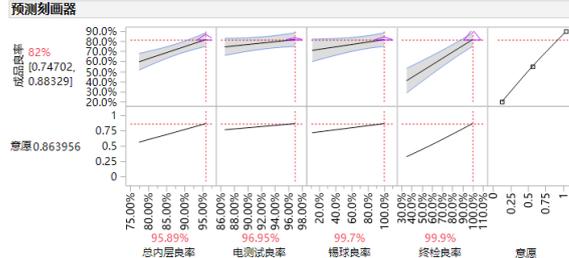


图 7 预测最优组合

## 4 预防围堵机制的建立

从工艺流程我们可以了解到，此新产品共压合介电层 11 次，图形合格率检验 11 次。故每一层的合格率都会影响到总内层合格率，需要分析主要因子。

### 4.1 防呆系统前期分析

笔者所在公司对这类范畴的缺陷，建立的在线监控的机制。以此产品的内层合格率分析为例，可以先判定总内层合格率与各层次的合格率（一次及三次压合的图形检验合格率为 100%，故不加入分析范围）相关性<sup>[4]</sup>所示，总内层合格率与最外层 EP 合格率呈正相关 0.94（见图 8）。

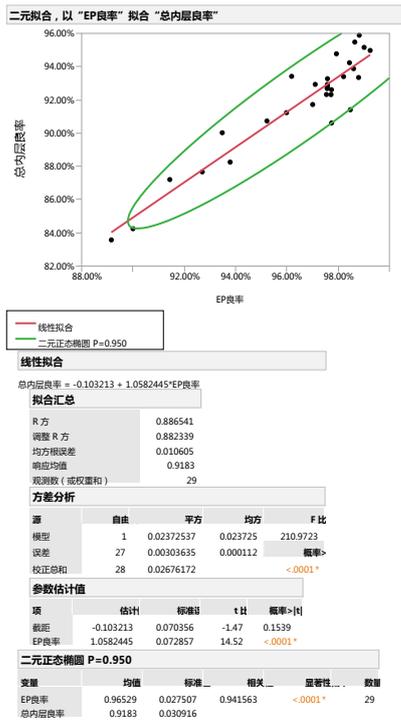


图 8 总内层良率相关性分析

调整 R 方 0.88，模型平方和小于校正总和平方和<sup>[6]</sup>。两者有相关性为 0.94。

从以上分析可得到，内层总合格率的波动主要贡献因子是 EP 层的合格率，故重点从 EP 层的合格率为突破点来建立防呆系统及研究改善措施。

### 4.2 防呆系统的可视化管理

以外层合格率为例，设定低合格率触发机制，具体形式

如图 9 所示。

这是一个 6×8 的阵列，每个位置代表一颗产品，一块生产板，包含了 48 颗单元产品。那每一块生产板的缺陷具有较强的可追溯性，分布状态如图 10 所示，一个批次有 24 片生产板。



图 9 EP 层合格率趋势图

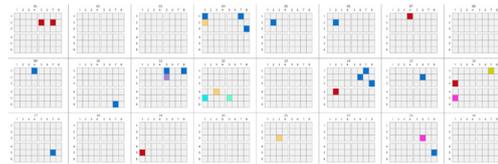


图 10 缺陷位置及类型示意图

## 5 结语

使用创建的新模型可预测新产品在不同阶段的成品合格率，从而准确规划成本投入实现利润最大化；同时探测到主要缺陷影响因素，建立可视化防呆机制，为提前探测异常并及时改善提供依据。

后续会详细对工艺流程及产品的特性参数对合格率的相关性研究，建模实现工艺设定参数及产品直接测量参数对合格率的影响，以达到更早一步的预测目的。

## 参考文献

- [1] 刘晓阳,陈文录.2.5D封装有机基板制造工艺研究[J].印制电路信息,2020(1):1-9.
- [2] 龚永林.2020年电子电路技术热点[J].印制电路信息,2020(2):1-8.
- [3] 张慧,冯淑莹.3D打印技术在电子电路板制造中的应用探究[J].江西化工,2020(3):175-176.
- [4] 李莹.表面活性剂影响下混合发酵过程机制的统计学研究[D].北京:华北电力大学,2020.
- [5] 郝彦斌.小样本非正态数据结构方程模型估计方法研究与医学应用[D].太原:山西医科大学,2007.
- [6] 沈思鹏.基于生存结局的多组学预测模型统计学方法研究与应用[D].南京:南京医科大学,2019.