

# 静电封接过程与机理研究

罗 鸣\* 赵新安 张 熙 谭淞生 王渭源

(中国科学院上海冶金研究所, 上海, 200050)

1990年9月29日收到, 92年1月24日修改定稿

本文主要通过观察加热的硅-玻璃系统在静电场下的电流-时间( $I-t$ )曲线, 及其与封接状态的对应关系, 用耗尽层和电场力的概念描述了封接的物理过程, 讨论了表面状况对封接的影响, 建立了表面粗糙程度与封接电压、材料刚度等参数的制约关系式, 给出了可靠封接的条件和完成封接的  $I-t$  曲线判据。

EEACC: 2550E, 2520C, 7230

## 一、引 言

静电封接方法最早由 Pomerantz 和 Wallis<sup>[1,2]</sup> 提出, 该法不仅工艺温度低, 反应时间短, 而且不用任何粘结剂, 从而解决了蠕变问题; 同时, 由于其良好的气密性、长期稳定性以及封接区域的确定性, 越来越多地受到国内外重视<sup>[3-6]</sup>。本文主要通过封接过程中的  $I-t$  曲线, 对封接机理作了较详细的探讨。

## 二、实 验 方 法

将玻璃与硅片用丙酮、乙醇各超声10分钟后用去离子水冲洗、烘干, 样品室通以1L/min  $N_2$ , 加热至300—400°C, 恒温后加上封接电压, 同时  $x-y$  记录仪工作。封装结束后样品冷却至50°C以下取出。

## 三、实验结果和讨论

### 1. 玻璃和硅片分别在加热情况下的电特性

在2mm厚的抛光95#玻璃上双面蒸镀1 $\mu$ m的铝, 直接用封接装置测量。在室温附近, 几乎测不到峰值电流; 随温度升高, 可动离子数目指数上升, 导电性增强, 其行为类似于电解质<sup>[7]</sup>; 断开电压后  $Na^+$  不能完全复位, 只有一部分可以在重新施加电压后再次漂移, 因而峰值电流减小(图1)。实验表明, 峰值电流随温度的增加在250°C左右有一个

\* 现在工作单位: 中国计量科学研究院力学处, 北京, 100013。

由缓而剧的转折点, 稳态电流转变点在  $300^{\circ}\text{C}$  左右。从室温到  $385^{\circ}\text{C}$ , 相应的漏电阻从  $10^6 \text{ M}\Omega$  下降到  $1.6 \times 10^2 \text{ M}\Omega$ , 变化了 4 个数量级。

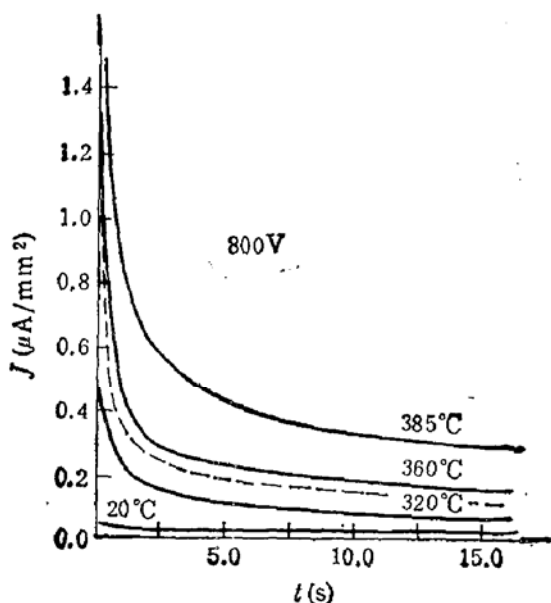


图 1 玻璃在不同温度下的  $I-t$  曲线  
虚线是  $385^{\circ}\text{C}$  下断电保温 10 分钟后重复测试结果

当温度升高到  $300-400^{\circ}\text{C}$  时, 硅片电阻率将由于本征激发而降至  $0.1 \Omega \text{ cm}$  左右, 相当于金属。

## 2. 硅-玻璃封接系统

### (1) 电压极性选择

外加电场使玻璃表面形成耗尽层, 其宽度约为几个  $\mu\text{m}$ <sup>[7,8]</sup>, 因此稳态时电压在介质内大部分降落在耗尽区, 相应地有最大的电场强度。当封装系统以玻璃接负极, 硅片接正极时, 最大电场发生在紧靠接触的玻璃界面, 使封装得以实现。反之则封接不成功。

### (2) 表面质量要求

单面抛光硅片, 以毛面接触则封接不上, 其  $I-t$  曲线类似于图 1, 说明毛面硅片-玻璃系统的电特性与镀铝玻璃相似。表面粗糙度对封接的影响可通过封接过程中的力平衡计算得到半定量的解释。

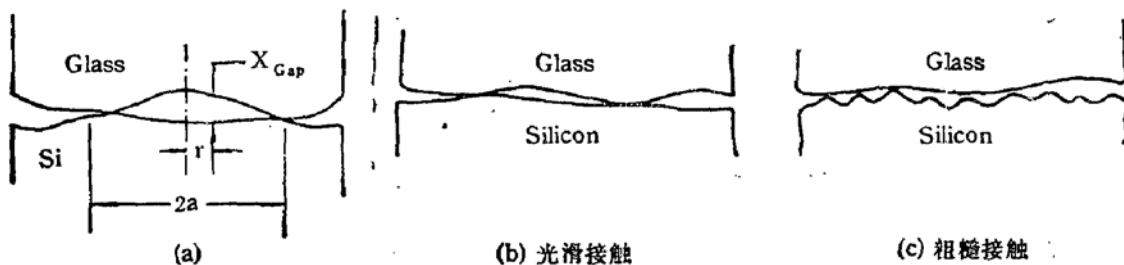


图 2 (a) 玻璃与硅接触界面局部示意图 (b) (c) 不同粗糙度样品接触示意图

参看图 2, 接触位置的玻璃在界面区域发生极化, 形成耗尽区, 有很大的电压降; 但在没有接触的地方, 大部分电压降落在间隙, 其间单位面积静电力为:

$$F = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_{\text{gap}}^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \left( \frac{V_{\text{a}} - V_{\text{glass}}}{x_{\text{gap}}} \right)^2 \approx \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{V_{\text{a}}^2}{x_{\text{gap}}^2}.$$

若把空隙边界近似看作圆形, 则对应于硅片弯曲挠度  $W$  所需的压力为[9]:

$$P = \frac{64DW}{a^4 \left( 1 - \frac{r^2}{a^2} \right)^2}, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}.$$

其中  $D$  为硅片弯曲刚度,  $a$  为间隙半径,  $r$  为距间隙中心的距离,  $E$  为杨氏模量,  $\nu$  为泊松比,  $h$  为硅片厚度。简化起见, 只考虑中心点挠度, 并认为它达到间隙宽度时界面密合。封

接过程中静电力使间隙减小, 间隙减小又使静电力增大; 另一方面, 间隙减小意味着挠度加大, 相应需增大压力, 最终稳定在平衡位置, 即满足  $P = F$ , 代入  $r \ll a$  得:

$$\frac{64DW}{a^4} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{V^2}{(x_{\max} - W)^2}$$

该方程的解即平衡位置对应的挠度。只有当  $P-W$  直线与  $F-W$  曲线相切或没有交点时, 单位面积静电力始终大于所需的压力, 封接才能实现。对于给定的间隙, 只有  $a$  足够大时条件才能满足, 表面越粗糙则  $a$  越小。进一步推导可得成功封接必须满足的关系:

$$x_{\max} \leq \frac{3}{2} \sqrt[3]{\epsilon_0 V^2 a^4 / 64 D}$$

### 3. 封接过程的 $I-t$ 曲线

抛光硅片同玻璃成功封接的  $I-t$  曲线示于图 3。加上电压后, 电流有一个几秒钟的前沿, 然后才迅速上升至峰值; 而其衰减过程, 同图 1 类似, 说明成功封接的曲线特征只包含在前沿段。我们认为, 封接从接触点开始, 由点及面推广到全区域。随着接触面积增大, 电阻逐渐减小, 电流逐渐增大, 直至封接过程结束, 一旦建立了空间电荷区, 其电流下降即类似于单块玻璃样品。封接完成后的样品重复测其  $I-t$  曲线, 不再有此上升沿。

我们也拍摄了封接过程中样品的等厚干涉条纹照片(图 4 见图版 I)。在未完成封接的区域有间隙存在, 可见干涉条纹; 随着封接继续, 该区域逐渐缩小, 而条纹消失时电流总是位于峰值附近。于不同时间终止封接的样品也证实了这一结论, 即上升沿对应着封接的过程, 峰值出现标志封接完成, 而下降沿对应的是继续充电过程, 对封接没有贡献。

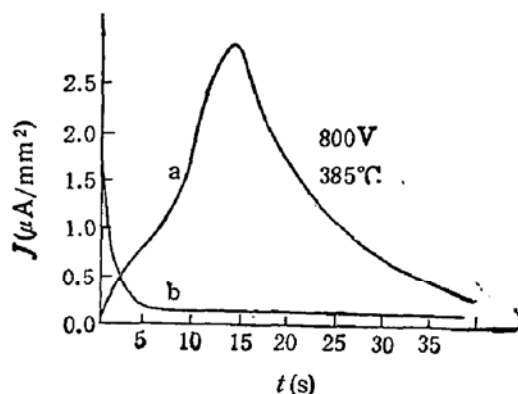


图 3 (a) 玻璃与抛光硅片成功封接的  $I-t$  曲线  
(b) 断电保温 10' 后重复测试结果

### 参 考 文 献

- [1] D. I. Pomerantz, *U.S. Patent*, No. 3,397, 278. Aug. 13. (1968).
- [2] George Wallis and D. I. Pomerantz, *J. Appl. Phys.*, 40 (10), 3946 (1969).
- [3] Phillip W. Barth, *SENSORS AND SYSTEMS*, 1, 22 (1982).
- [4] 乔景庄,《传感器技术》, No. 1, p. 38 (1986).
- [5] 冯景星,《半导体敏感器件》, No. 1, p. 34 (1987).
- [6] 陈志刚,《半导体技术》, 3, 29 (1989).
- [7] R. C. CUSSINK, *J. Am. Ceram. Soc.*, 61, 539 (1978).
- [8] 顾志超等编《化学用表》, 江苏科学技术出版社, (1979).
- [9] 牛德芳等编著《力学量敏感器件及其应用》, 科学出版社, (1987).

## Procedure and Mechanism of Electrostatic Sealing

Luo Ming, Zhao Xin'an, Zhang Xi, Tan Songsheng and Wang Weiyuan

(Shanghai Metallurgy Institute, Academia Sinica, 200050)

### Abstract

Bonding is one of the key process in sensor fabrication. Through the observation of the current-time ( $I-t$ ) curve of the heated silicon-glass system under electro-static field and its correspondance to the bonding state, the electrostatic sealing procedure is depicted in terms of depletion layer and electronic force. The influence of different surface condition on bonding is discussed and the restrictive relation among the surface roughness, bonding voltage and material rigidity is established. The condition of reliable bonding and the criterion of the ending in  $I-t$  curve are given as well.

**EEACC:** 2550E, 2520C, 7230