

静电封接与硅杯腐蚀的新技术

冯景星

(福州大学电子科学与应用物理系, 福州, 350002)

摘 要 论述硅与玻璃真空静电封接的工作原理、实验方法以及形成硅杯的各向异性腐蚀技术。

关键词 硅杯; 静电封接; 异向蚀刻技术

1 真空静电封接技术

1.1 真空静电封接装置

实验用的真空静电封接装置, 是在自装的真空镀膜机上稍加改装而成的, 除了高压部分由 4000 V 直流稳压电源单独供电外, 其余部分在镀膜机上改装. 镀膜机上的蒸发电极与加热钼片相连, 调节电压, 保证加热板始终加热. 由热电偶直接测量温度, 衬底温度 T 的大小由所用的玻璃材料种类而定, 如对于 DW-211 电真空玻璃, 衬底温度一般控制在 450~500 °C; 九五料玻璃衬底温度一般取 360~420 °C. 被封接的硅杯与抛光好的玻璃(玻璃的粗糙度为 0.016~0.008 μm)放在镀铬的紫铜园柱体与园板之间, 加上直流电压(与 4000 V 直流稳压电源相连接) $U=1200\sim 1600\text{ V}$, 硅芯片接高压电源的正极, 玻璃与高压电源的负极相连接, 其装置如图 1 所示.

1.2 静电封接工作原理

真空静电封接技术是将做好的压力传感器的硅芯片与玻璃支架用静电方法封接在一起, 也称为 Mallory 法. 这种静电封接装置的作用可以模拟成如图 2 所示的情况⁽¹⁾

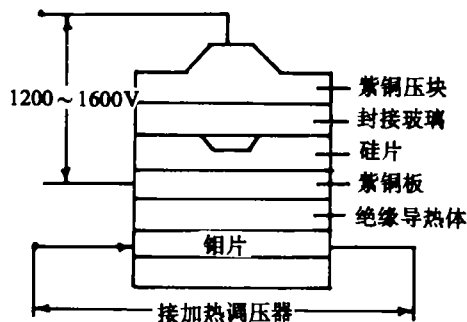


图1 静电封接装置

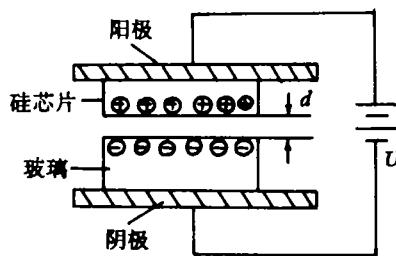


图2 静电封接原理图

众所周知, 玻璃是绝缘体, 在常温下不导电, 然而在给玻璃加热到一定温度并加上一定高压时玻璃中的正离子(如钠离子)就会在强电场的作用下向负极运动, 同时玻璃中的偶极子

本文收到日期: 1993-12-28

冯景星, 男, 1938 年出生, 副教授

在强电场作用下产生极化取向, 在这种情况下, 玻璃也具有导电性.

同样, 半导体硅(N 型或 P 型)在外加电压作用下, N 型硅中的电子向电源正极运动, P 型硅的空穴向负极运动, 当半导体硅加热到一定温度发生本征激发, 产生电子空穴对, 在外加直流电压作用下, 电子、空穴沿相反方向运动.

由以上分析得, 将玻璃与半导体硅直接接触进行静电封接时, 当衬底加热到一定温度, 半导体与玻璃均能导电, 因此, 外加直流电压大部分是降落在玻璃与硅接触的间隙上. 在接触面附近, 形成很强大的静电吸引力, 将平整的玻璃与硅片焊接在一起.

如图 2 所示, 设玻璃与硅片间隙为 d , 间隙所加的直流电压为 U , 则间隙的电场强度 E 为: $E = U/d$, 间隙的静电吸引力 F 为: $F = eE = eU/d$, 式中 e 为电子的电荷量.

由此可见, 当外加电压 V 给定时, d 越小则 F 越大. 也就是说玻璃与硅片抛光的光洁度越高、接触的间距也就越小, 产生的静电吸引力越大, 硅片与玻璃也就容易焊上.

1.3 工艺条件与实验数据

工艺条件: 真空度为 $1.33 \times 10^{-2} \sim 0.133 \times 10^{-2}$ Pa; 衬底温度 $T = 360 \sim 450$ °C; 直流高压 $U = 1200 \sim 1600$ V; 时间 $t = 20$ min. 实验数据与结果如表 1 所示.

表 1 实验数据与结果

序号	真空度 / 10^{-2} Pa	直流电压 / V	温度 / °C	时间 / min	结果
1	2.52	1600	420	20	封接牢固
2	2.52	1400	420	20	封接牢固
3	2.52	1300	420	20	封接牢固
4	2.52	1200	420	20	封接牢固
5	2.52	900	420	20	不能封接
6	2.52	1200	400	20	封接牢固
7	2.52	1200	380	20	封接牢固
8	2.52	1200	360	20	封接牢固
9	2.52	1200	300	20	不能封接

1.4 分析与讨论

1) 真空静电封接时, 要求封接牢固, 除严格工艺操作外, 其关键是对玻璃进行抛光, 粗糙度为 $0.016 \sim 0.008$ μm , 否则如果玻璃粗糙度大于 0.016 μm , 在同样工艺条件下, 无论如何总是焊不上.

2) 真空静电封接技术是在硅片与玻璃之间加上直流高电压, 被封接面之间形成强大的静电吸引力, 使两种不同材料的物质化学键起作用, 能形成很牢固的封接. 在研制和生产 cy 系列半导体压力传感器, 特别是绝对压力传感器时, 采用此种封接技术, 既能保持硅膜内真空度又能封接牢固, 气密性好, 铝条不被氧化, 器件长期稳定可靠. 同样这种封接技术可用在其它型号半导体硅压力传感器的生产中, 先将硅芯片与玻璃管进行静电封接, 然后再将玻璃管用环氧树脂固定在支架上, 比用其它方法好, 能提高器件的性能.

3) 封接时选用的玻璃, 其热膨胀系数应与硅相近, 如选用 DW-211 电真空玻璃、派克斯玻璃、九五料玻璃等均能获得好的封接效果. 当采用九五料玻璃封接时, 由表 1 可知, 采用较低的电压(1200 V)、较低的衬底温度(360 °C)均能封接牢固. 这样既可防止电压太高引起

放电和击穿又可节省能源.

2 异向蚀刻技术原理

2.1 基本原理

硅单晶具有金刚石立方晶体结构,在不同的晶面上,原子的填充晶格密度和结晶面内有效键数不同,用某些腐蚀剂蚀刻时,由于(111)面原子密度最大,(100)面原子密度较小,因此在同样工艺条件下,腐蚀速率在(100)面显著地比(111)面快¹⁾.实验表明,各向异性腐蚀液对常用的晶面的腐蚀速率为:

$$R(100) > R(110) > R(111)$$

设在(100)面上沿 $\langle 011 \rangle$ 和 $\langle 0\bar{1}1 \rangle$ 晶向上氧化光刻一个正方形窗口,则当腐蚀液在(100)面腐蚀硅晶体时,由于在(111)面腐蚀速率很慢,故得到的是一个上宽下窄的四棱锥孔,如果适当控制腐蚀时间,可以得到一个四棱台状的硅杯.如果正方形窗口的边长为 l ,硅杯底边长为 b ,则腐蚀深度 h 为:

$$h = \frac{1}{2}(l - b)\text{tg}\alpha = 0.707(l - b)$$

2.2 常用的腐蚀液

几种常用异向蚀刻腐蚀液的典型配方及其条件如表 2 所示.

表 2 异向蚀刻腐蚀液配方比较表

腐蚀液组份	典型配方	腐蚀温度	腐蚀速率	腐蚀速率比 (110)/(111)	掺杂依赖性	掩模 (对掩模腐蚀)
乙醇胺水	30 mL 70 mL	80	0.5	17:1		二氧化硅
氢氧化钾水	44 g 100 mL	85	1.4	44:1	$> 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 掺硼 腐蚀速率锐减	氮化硅 二氧化硅(1.4 nm/min)
乙二醇邻苯二酚水	17 mL 3 g 8 mL 乙二醇 750 mL 邻苯二酚 120 g 水 240 mL	95	1	35:1	$< 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 掺硼 腐蚀速率锐减	二氧化硅(0.2 nm/min) 氮化硅(0.1 nm/min)
35:1	联胺水 100 mL 100 mL	100	100	2	10:1	$> 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 掺硼 腐蚀速率锐减

注:表中温度单位为 $^{\circ}\text{C}$,速率单位为 $\mu\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$

表 2 中 4 种异向腐蚀剂各有优缺点.乙醇胺水溶液优点是无毒操作、简便、容易控制以及无碱金属离子沾污,但腐蚀速率最慢.P-E-D 腐蚀剂具有低毒性,重复性好,无碱金属离

1) 吴宪平.用于固态传感器的硅各向异性腐蚀研究.敏感元件与传感器的学术团体联合组织委员会.首届全国敏感元件与传感器学术会论文集.北京.1989,11:143~145

子沾污等优点,但操作系统较复杂,有强烈的刺激气味及腐蚀液易老化;氢氧化钾水溶液由于易造成碱金属离子沾污及腐蚀槽的侧壁质量不易控制,故很少采用.联氨水溶液虽然具有配方简单、稳定性好以及无碱金属离子沾污,但因联氨有剧毒,因此目前很少采用.

分析对比以上几种腐蚀液的优缺点之后,实验结果表明,采用 3 号 P-ED 腐蚀液,其配方为:乙二胺:邻苯=酚:水=17 mL:3 g:8 mL,腐蚀温度为 95~110℃在通氮气保护下进行腐蚀,并防止腐蚀残渣沉淀在硅膜上,由时间 t 来控制传感器所需要的硅膜厚度、可获得满意的硅膜.

参考文献

- 1 Masayoshi Esashi. Low-temperature-to-silicon anodic bonding with intermediate low melting Glass. Sensors and Actuators, 1990, A21~A23: 931

New Technologies on Electrostatic Welding and Etching for the Silicon Cup

Fen Jingxing

(Department of Electronic Science and Applied Physics,
Fuzhou University, Fuzhou, 350002)

Abstract In this paper, The operating principle and experimental methods of Vacuum electrostatic welding for silicon-glass are discussed, and the silicon cup formation by anisotropy etching technique is also mentioned.

Keywords silicon cup; electrostatic welding; anisotropy etching technique.