

200 安硅雪崩整流元件 制 造 工 艺

北京椿树整流器厂

1971 年 6 月

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

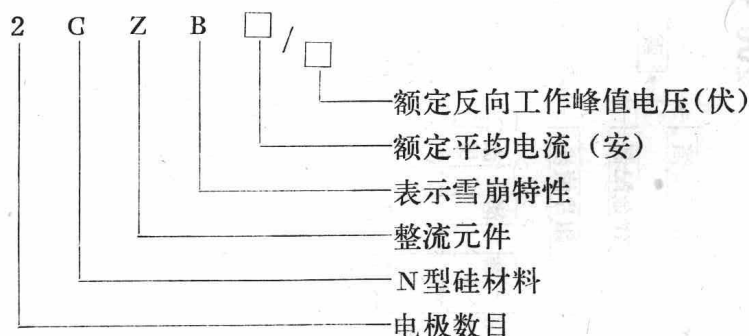
社会主义革命和社会主义建设，必须坚持群众路线，放手发动群众，大搞群众运动。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

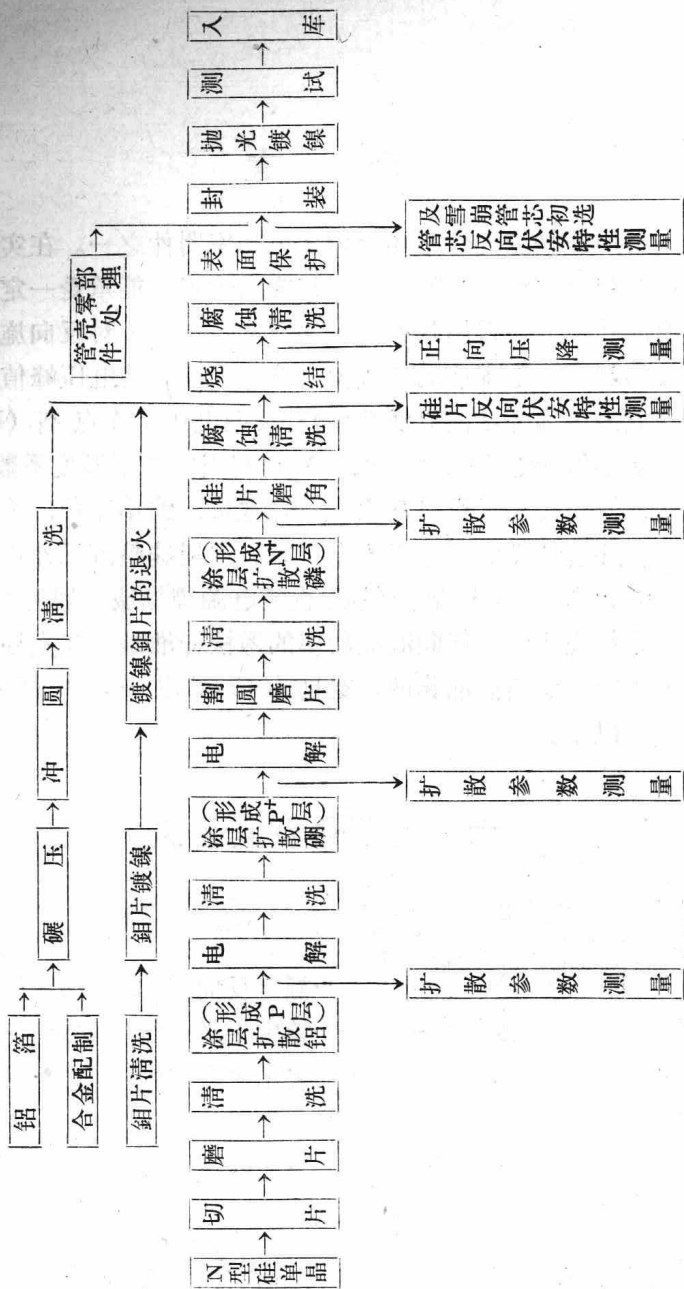
前 言

雪崩硅整流元件是半导体先进功率器件之一。在实际应用中同普通硅整流元件相比有其突出优点。能承受一定的反向浪涌功率（在雪崩硅整流元件空载情况下，对反向施加不连续的具有一定宽度的高压大电流方脉冲，其电压峰值与电流峰值乘积称为反向浪涌功率），反向电压工作点高（可取反向初始雪崩电压峰值的 80%）且有正的电压温度系数等。因之，使成套装置线路简化，减轻重量、缩小体积、节约能耗，而且造价降低和运行安全可靠。雪崩硅整流元件广泛应用于电力牵引、电化学、通讯、直流电源等领域。现对 200 A 雪崩硅整流元件的反向浪涌功率的考核标准是，在室温，通以不连续的反向浪涌脉冲，宽度为 $10\ \mu\text{s}$ 以上，浪涌功率 10 kW 以上。

元件的型号及其含义



200 安雪崩硅整流元件制造工艺流程图



扩 散

概述：用三次扩散的办法，在N型硅片上形成 $P^+-P-N-N^+$ 四层结构。三次扩散都采用涂层扩散。

第一次扩散，杂质源的主要成分是硝酸铝，（加微量硼酸），在n型硅片上形成P型层，扩散参数要求如下：

结深：80~100微米；

表面浓度： 10^{18} 原子/厘米³数量级。

第二次扩散，杂质源的主要成分是硼酸，（加适当量硝酸铝），在P型层上形成 P^+ 层，扩散参数要求如下：

结深：30~35微米；

表面浓度： 10^{20} 原子/厘米³数量级。

第三次扩散，杂质源用五氧化二磷，在磨去一面P型层的n型面上形成 n^+ 层，扩散参数要求如下：

结深：20~30微米；

表面浓度： $10^{20} \sim 10^{21}$ 原子/厘米³数量级。

注：上述扩散参数均在N型基片上测得。

涂层扩散铝工艺规程

一、设备和用具:

扩散炉, 密封操作箱, 鉑銻-鉑热电偶, 电位差計, 石英舟, 石英棒, 搪瓷鍋, 工业天平, 磨口滴瓶, 滴管, 烧杯, 不銹鋼镊子, 超声波清洗器, 电炉, 电解硅片設備, 塑料杯, 讀数显微鏡, 石英钟罩。

二、材料:

硅片 (厚度 $0.40 \sim 0.45$ mm, 电阻率 $15 \sim 50 \Omega\text{-cm}$, 寿命 30 微秒以上, 位錯密度小于 $5 \times 10^3/\text{厘米}^2$), 硫酸 (分析純), 硫酸鋅 (化学純), 硝酸 (分析純), 盐酸 (分析純), 无水乙醇 (分析純), 硝酸鋁 (指定純), 硼酸 (优級純), 氢氟酸 (化学純), 去离子水。

三、工艺操作:

(一) 涂液的配制:

500 毫升无水乙醇加 25 克硝酸鋁加 1.25 克硼酸, 完全溶化后即可使用。这种涂液称之为“浓硝酸鋁加稀硼酸涂液”。

(二) 硅片的清洁处理:

1. 将磨好擦干的硅片放在烧杯中;

倒入适量的硫酸;

在电炉上煮至微微沸騰。

2. 在微微沸騰的情况下煮 $5 \sim 10$ 分钟。在煮的过程中, 經常端起烧杯搖晃, 使硫酸和硅片表面充分接触;

3. 待硫酸冷下来后倒去硫酸, 先用冷去离子水冲, 再用大量热去离子水冲洗硅片;

并用热去离子水超声波清洗三、四次，至水清为止；

4. 用王水煮硅片，煮至沸腾后保持 5~10 分钟；

5. 倒去王水，先用冷去离子水冲，再用大量热去离子水冲洗硅片，并用热去离子水超声波清洗三次，然后用无水乙醇脱水待用。

(三) 涂层：

1. 用镊子将硅片从无水乙醇中取出，摆在 U 形石英舟上晾干，在灯光下观察硅片表面，把划道和不干净的硅片挑出不用；

2. 用吸管插入“浓硝酸铝加稀硼酸涂液”中，吸取涂液，一滴一滴地滴到硅片表面上，对直径约为 30 毫米的硅片，每片滴 3 滴。轻轻摇动石英舟，使硅片上的涂液分布均匀。

3. 待涂液干后，翻上硅片的另一面，按上述办法滴上涂液。

4. 两面涂液都干后，再用镊子将硅片叠置于清洁处理好的石英钟罩内，平放竖放都可以。

(四) 扩散：

1. 先将扩散炉升温到 1250°C。

2. 将装好硅片的石英钟罩放入扩散炉口，用石英棒推至扩散炉的恒温区中。

3. 对准热电偶的热端位置使其放在石英钟罩外侧的正中部分。

4. 待炉温回升到 1250°C 时，记下开始扩散时间。在 1250°C 恒温扩散 48 小时。

5. 恒温时间到后，立即断电，让炉子自然冷却慢降温，降至 200°C 以下即可取出。

(五) 出炉：用石英棒将石英钟罩移至炉口，用镊子将

石英钟罩夹到搪瓷锅里。

(六) 浸泡：待硅片冷却后，用镊子将硅片夹入塑料杯中，倒入适量氢氟酸浸泡硅片，盖上杯盖，置于通风柜里，泡4个小时以上即可完全泡开。

倒去氢氟酸，用大量自来水冲洗硅片，再用去离子水冲洗三次。

(七) 电解：用硫酸锌溶液作为电解液，对硅片进行电解。

(八) 浸泡：电解后用氢氟酸泡5~10分钟，倒去氢氟酸，用大量自来水冲洗硅片，再用去离子水冲洗三次。

(九) 硝酸煮：用硝酸煮硅片，煮沸3~5分钟。

用去离子水冲洗硅片，用无水乙醇脱水

(十) 烘干：用红外灯把硅片烘干后转下工序。

(十一) 扩散参数测量：抽出一小片硅片，用四探针法测量薄层电阻，用磨角法测量结深，并求出表面浓度。结深和表面浓度应该符合要求。

涂层扩散硼工艺规程

一、设备和用具:

(和涂层扩散铝所用的相同)。

二、材料:

涂层扩散铝后的硅片及一小片 n 型实验硅片, 硼酸或三氧化二硼 (特纯), 硝酸铝 (指定纯), 无水乙醇 (分析纯), 硝酸 (分析纯), 氢氟酸 (化学纯), 甲苯 (分析纯), 丙酮 (分析纯), 硫酸锌 (化学纯)。

三、工艺操作:

(一) 涂液的配制:

1. 100 毫升无水乙醇加 8 克 硼酸 (或三氧化二硼), 完全溶化后即可使用。这种溶液称之为“浓硼酸 (或三氧化二硼) 涂液”。

2. 100 毫升无水乙醇加 8 克硝酸铝, 完全溶化后即可使用。这种涂液称之为“浓硝酸铝涂液”。

(二) 硅片的清洁处理:

1. 将硅片放在干净的烧杯中, 倒入适量的王水, 煮至沸腾后保持 5~10 分钟。

2. 倒去王水, 先用冷去离子水冲, 再用大量热去离子水冲洗硅片, 并用热去离子水超声波清洗三次, 然后用无水乙醇脱水待用。

(三) 涂层:

1. 用镊子将硅片从无水乙醇中取出, 摆在 U 形石英舟上晾干。

2. 用吸管插入“浓硼酸涂液”中, 吸取涂液, 一滴一滴地

滴到硅片表面上，对直径约为 30 毫米的硅片，每片滴三滴，轻轻摇动石英舟，使硅片上的涂液分布均匀，晾干。

3. 再用另一吸管插入“浓硝酸铝涂液”中，吸取涂液，一滴一滴地滴到硅片表面上，对直径约为 30 毫米的硅片，每片滴二滴，轻轻摇动石英舟，使硅片上的涂液分布均匀，晾干。

4. 待涂液晾干后，翻上硅片另一面，按上述办法进行涂层。

5. 两面涂液都干后，再用镊子将硅片叠置于清洁处理好的石英钟罩内，平放竖放都可。

6. 对一小片 n 型实验硅片，用上述方法进行涂层，作为测扩散参数之用。

（第四至第九道工序与涂层扩散铝相同，只是恒温时间从 48 小时改为 10 小时）。

（十）烘干：用红外线灯把硅片烘干，转割圆磨片。

（十一）扩散参数测量：对实验小硅片进行薄层电阻和结深的测量，并求出表面浓度。结深和表面浓度应符合要求。

涂层扩散磷工艺规程

一、设备和用具：

扩散炉（专用），密封操作箱，铂铑-铂热电偶，电位差计，搪瓷盘，烧杯，不锈钢镊子，石英钟罩，石英片，石英套筒，硅压块，超声波清洗器，塑料杯，读数显微镜，石英棒，石英小勺。

二、材料：

硅片（扩散过铝和硼，经过割圆并磨去一面，厚度为0.27~0.28毫米）。

五氧化二磷（分析纯），无水乙醇（分析纯），氢氟酸（化学纯），硫酸（分析纯），盐酸（分析纯），硝酸（分析纯），丙酮（分析纯），医用脱脂棉，定性滤纸，去离子水。

三、工艺操作：

（一）涂液的配制：

100毫升无水乙醇加三小勺五氧化二磷完全溶化后即可使用。这种涂液称之为“五氧化二磷涂液”。

（二）硅片的清洗处理：

（同涂层扩散铝工艺规程中的硅片清洗处理，但最后换用丙酮泡着待用）。

（三）涂层：

1. 用镊子将硅片从丙酮中取出，一片片摆在滤纸上晾干， n 型面朝上，把表面有划道和不干净的硅片挑出不用。

2. 用镊子夹脱脂棉小球，浸湿“五氧化二磷涂液”，并在另一脱脂棉上挤压去一些涂液，使小棉球半干半湿，然后再在硅片表面上轻轻擦涂上一层涂液（注意别让涂液翻到硅

片的另一面上去)。

3. 待涂液干后, 将硅片涂层面对涂层面, 两两对叠, 叠放在石英片上, 套上石英套筒, 压上硅压块, 装入石英钟罩内。

(四) 扩散:

(同“涂层扩散铝工艺规程”中的扩散, 但恒温扩散时间从 48 小时改为 10 小时)。

(五) 出炉: 用石英棒将石英钟罩先移至炉口, 再取出置于搪瓷盘内。

(六) 浸泡: 1. 待硅片冷却后, 用镊子将石英片从石英钟罩内取出, 取下石英套筒, 把硅压块夹入塑料杯中, 把硅片夹入另一塑料杯中。2. 往放硅压块的杯中倒入适量氢氟酸, 浸泡 1~2 分钟, 再把此氢氟酸倒入放硅片的杯中盖上杯盖, 放在通风柜中。用冷、热去离子水把硅压块冲洗干净。

3. 硅片在氢氟酸里浸泡 2~3 小时即可完全泡开。(注意泡的时间不要过久, 泡久了磷扩散面将变成棕黑或蓝色)。倒去氢氟酸, 用大量自来水冲洗干净, 用工业纯无水乙醇脱水, 用红外灯烘干后转下工序。

(七) 扩散参数测量: 从扩散过磷的硅片中取出一片, 用割圆机割成较小的圆片, 用四探针法测量扩磷面的薄层电阻, 用磨角法测磷扩散的结深, 并求出表面浓度。结深和表面浓度应符合要求。

表面造型（磨角）工艺规程

一、目的：

增加 P-N 結表面空間电荷层宽度，降低表面电场强度，提高表面击穿电压，从而容易首先达到体内 P-N 結的雪崩击穿。

二、设备和用具：

直流调速机，磨角器¹⁾，超声波清洗器，烧杯，培养皿，紅外灯。镊子。

三、材料：

扩散好的硅片，金刚砂（M 14），去离子水。医用手指套。

四、工艺操作：

（一）准备工作：

1. 检查硅片：把有严重划道、缺口的硅片挑出不用，其他硅片再按边缘蹦损情况，分为磨正角用和磨负角用两类。

2. 用自来水把金刚砂调成糊状。

3. 把直流调速机和磨角器装配好，试转，使之同心、转速适当。

（二）操作过程：

1. 将医用手指套套在右手四个手指上。

2. 把糊状金刚砂放少许在磨角器中。

3. 将硅片放在磨角器中，用手指轻轻按住，开转磨角机。

4. 边磨边用手指转动硅片，并随时观察磨出角度的情况，发现磨偏时，要随时纠正。

5. 硅片邊緣磨到約 1.5 毫米寬度，斜角底邊快到盡底即為磨好，磨好的硅片泡入去離子水中。

6. 用去離子將磨好硅片進行沖洗，并用超聲波清洗器清洗，除去硅片上的砂泥，清洗到水干淨為止。

7. 硅片用無水乙醇脫水，用紅外燈烘干後轉下工序。

(三) 注意事項：

1. 硅片邊緣磨角要磨得均勻一致。

2. 硅片邊緣不可有破損、划道。

3. 斜角底邊不要磨得太薄，要把腐蝕量留出來。

硅片腐蚀清洗工艺规程

一、设备和用具：

电炉，超声波清洗器，石英管加热器，烧杯，瓷坩埚，不銹鋼镊子，中間測試台，通风柜，密封罩，紅外灯。

二、材料：

丙酮（分析純），无水乙醇（分析純），氢氧化鉀（优級純），滤紙（定性分析），去离子水。

三、工艺操作：

1. 将磨好角經過初步清洗的硅片放在烧杯中，用丙酮超声波去油清洗两次，每次 5~10 分钟。

2. 用热去离子水冲洗 3~4 分钟。用镊子将硅片放入清洗的坩埚中。

3. 腐蚀：先将 10% 氢氧化鉀溶液倒在干淨的烧杯內在电炉上煮开，再将煮开的溶液倒入放有硅片的坩埚內，放在电炉上煮，約經 15 秒坩埚內的溶液又煮开，开始計算腐蚀時間。沸騰腐蚀的时间为 45 秒~1 分钟。

4. 清洗：腐蚀時間一到，立即用大量热去离子水冲洗，冲洗時間約 5~6 分钟。然后用无水乙醇脫水。

5. 烘干：把硅片擺放在滤紙上，在密封罩內的紅外灯下烘干。

6. 中間測試：把硅片放在測試台上进行反向伏安特性測試，600 伏以上的为合格片，轉燒結工序。不合格片轉磨角工序处理。

烧结工艺规程

一、设备和用具：

立式烧結炉，石英钟罩，石英板，石墨模具，不銹鋼镊子，紅外灯，烧杯，瓷坩堝。

二、材料：

硅片（扩散好磨好角又經過腐蝕清洗），銀錫片，銀鉛錫片，鋁片，上、下銅片。

三、工艺操作：

1. 用镊子把銀錫片、鋁片、銅片从无水乙醇中取出放在石英板上，置于紅外灯下烘干。

2. 装模：如图所示，把銀錫片、下銅片、鋁片、硅片、銀鉛錫片、上銅片，依次装入石墨模具迭起来（注意各片中心尽量对准），套上石墨环，压上石墨片和鋼压块。

3. 烧結：

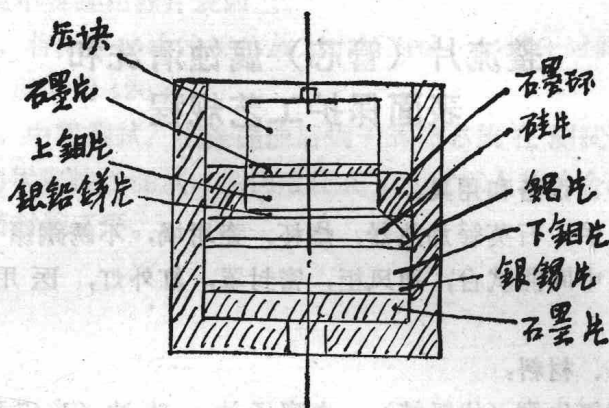
(1) 把装好的模子放在真空系統中的石墨托上，套下石英钟罩，开机械泵抽真空并加热炉子。

(2) 真空度达 10^{-2} 毫米水銀柱开扩散泵加热器并通冷却水，

(3) 約經半小时后真空度达 10^{-4} 毫米水銀柱左右，套下炉子进行烧結升温。

(4) 約經4~5分钟溫度升到 780°C （此溫度由实践經驗选取），恒温三分钟。

(5) 恒温三分钟后立即断电降温，降到 500°C 时抬炉，降到 375°C 时关扩散泵加热器并开风扇吹扩散泵，至 100°C 以下（扩散泵也已吹凉了）即可取出。



烧结装模示意图

4. 出炉：对石英钟罩放气，打开石英钟罩，戴手套取石墨模具放在铝板上，用镊子夹出压块，倒出石墨片，石墨环和烧结好的管芯。

5. 中间测试：把烧结好的管芯放在测试台上，进行正反向伏安特性测试。反向数据仅供参考，正向电压降小于0.65伏的为合格品，转管芯腐蚀工序。