

# 硅NPN平面型高频小功率晶体管 硅NPN外延平面型高速开关小功率晶体管

## 制造工艺

(内部资料、注意保存)

上海元件五厂

1969.12.

# 毛主席语录

提高警惕，保卫祖国。要准备打仗。

备战、备荒、为人民。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然界得到自由。

人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。在有阶级存在的社会内，阶级斗争不会完结。在无阶级存在的社会内，新与旧、正确与错误之间的斗争永远不会完结。在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。

要认真总结经验。

## 前 言

我們在落实偉大领袖毛主席“提高警惕，保卫祖国。要准备打仗”的偉大指示中，认识到迅速发展电子工业，以加强国防建设，是备战的需要。根据駐厂工宣队、军宣队的建议，在原有工艺文件的基础上，改写了这本3DG<sub>6</sub>硅NPN平面型高频小功率三极管和3DK系列硅NPN外延平面型高速开关小功率三极管的工艺，作为本厂业务学习资料之一。

我厂3DG<sub>6</sub>和3DK系列的晶体管，是1966年定型投产的。三年多来，在偉大的无产阶级文化大革命中，广大工人和革命技术人员，狠批了叛徒、內奸、工贼刘少奇的反革命修正主义、爬行主义、洋奴哲学，砸烂了束缚工人手脚的不合理的条条框框，解决了一些工艺难点和革新了一些操作方法。我們遵照偉大领袖毛主席“要认真总结经验”的教导，在改编工艺文件的过程中，首先发动广大群众认真总结经验。先由生产工人和革命技术人员讨论，收集整理成册（初稿），然后印发给各班組生产工人和革命的技术人员讨论修改和补充。还分別召开了老工人、革命的技术人员和青年艺徒座谈会，听取意见。此外，我們还得到了来我厂协作、参观的兄弟单位的同志的帮助和指导。

为了便于同志們了解制管的情况和熟悉生产操作方法，在这次改写的过程中，冲破了过去条条框框，不仅写了各道工序的操作程序和要点，还写了一些简单的原理、操作的要求和注意事项，初步总结了几年来生产的经验，克服了原有工艺文件中已经发现的缺点。

毛主席教导我們：“人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。这个历史永远不会完结。……在生产斗争和科学实验的范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”随着电子工业的飞速发展，新技术、新工艺将不断涌现。请同志們及时总结经验，以便修改、充实、提高这个工艺文件。

由于我們毛泽东思想偉大红旗举得不高，业务水平和实践经验有限，这次编写的工艺文件仍然会存在不少缺点和错误，请同志們批评指正。

上海元件五厂革命委员会生产组

1969年12月

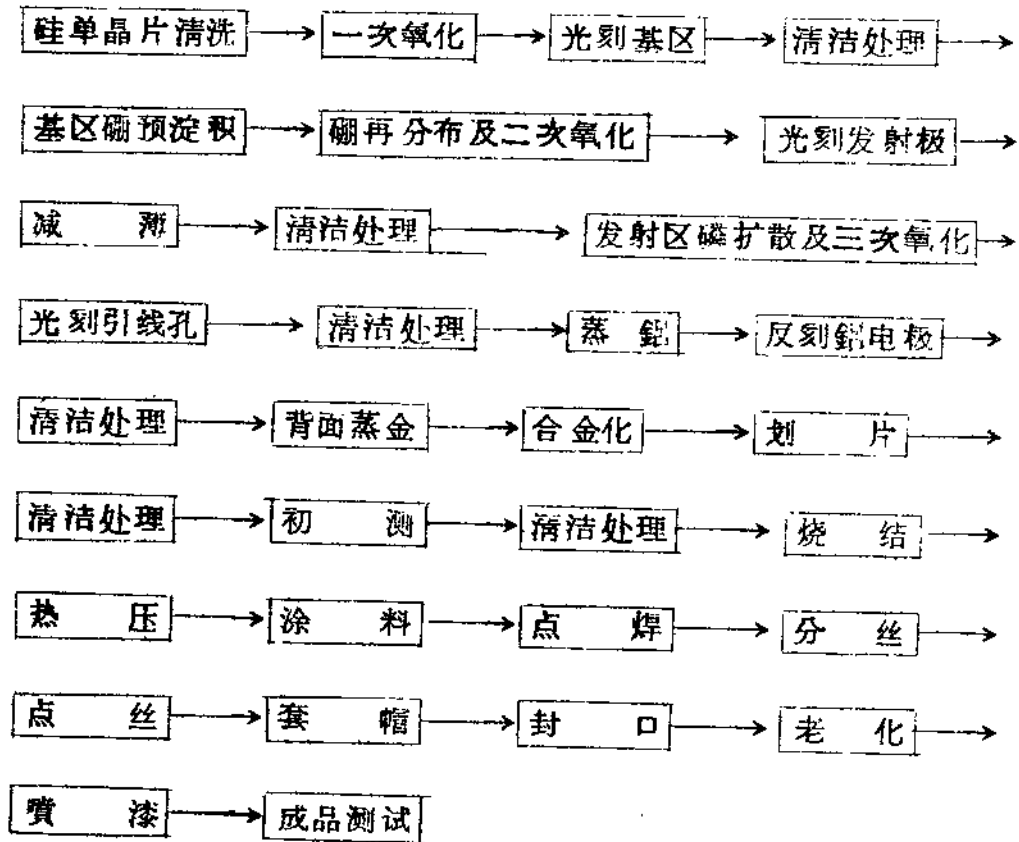
# 目 录

|      |                                                                                                   |    |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 第一部分 | 工艺流程及其示意图                                                                                         | 1  |
|      | 3DG <sub>6</sub> 硅 NPN 平面型高频小功率晶体管工艺流程方框图                                                         | 1  |
|      | 3DK <sub>2</sub> , 3DK <sub>3</sub> 硅 NPN 外延平面型高速开关小功率晶体管                                         |    |
|      | 工艺流程方框图                                                                                           | 2  |
|      | 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> 超小型硅 NPN 外延平面型高速开关小功率                                         |    |
|      | 晶体管工艺流程方框图                                                                                        | 3  |
|      | 硅 NPN 外延平面型高速开关小功率晶体管制造工序示意                                                                       |    |
|      | 图                                                                                                 | 4  |
| 第二部分 | 3DG <sub>6</sub> , 3DK <sub>2</sub> , 3DK <sub>3</sub> , 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> 的管芯制 |    |
|      | 造                                                                                                 | 5  |
|      | 一次氧化                                                                                              | 5  |
|      | 光 刻                                                                                               | 7  |
|      | 基区硼扩散、二次氧化                                                                                        | 11 |
|      | 附(1) 氧化层厚度的测量                                                                                     | 15 |
|      | 附(2) 扩散结深度的测量                                                                                     | 17 |
|      | 附(3) 表面电阻 ( $\rho_s$ ) 的测量                                                                        | 18 |
|      | 硅片减薄                                                                                              | 19 |
|      | 金扩散                                                                                               | 19 |
|      | 磷扩散及三次氧化                                                                                          | 20 |
|      | 真空蒸发                                                                                              | 23 |
|      | 划 片                                                                                               | 27 |
|      | 初 测                                                                                               | 29 |
| 第三部分 | 3DG <sub>6</sub> , 3DK <sub>2</sub> , 3DK <sub>3</sub> 的装配及封装 (金属壳                                |    |
|      | 封装)                                                                                               | 30 |
|      | 烧 结                                                                                               | 30 |
|      | 附: 银浆配制                                                                                           | 32 |
|      | 热 压                                                                                               | 32 |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 涂 料                                                                                                           | 34 |
| 点焊支架                                                                                                          | 35 |
| 点焊硅钨丝                                                                                                         | 37 |
| 套 帽                                                                                                           | 37 |
| 封 口                                                                                                           | 38 |
| 老 化                                                                                                           | 40 |
| 喷 漆                                                                                                           | 41 |
| 打印包装                                                                                                          | 42 |
| 总 测                                                                                                           | 43 |
| 附：测试技术规范表                                                                                                     | 44 |
| 第四部分 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> 的装配及封装(环氧树脂超小型封装)                                                    | 49 |
| 烧 结                                                                                                           | 49 |
| 热 压                                                                                                           | 50 |
| 环氧树脂密封成型                                                                                                      | 52 |
| 老 化                                                                                                           | 55 |
| 总 测                                                                                                           | 57 |
| 附：测试技术规范表                                                                                                     | 58 |
| 第五部分 原材料、硅片、器皿及工具的清洁处理                                                                                        | 60 |
| 第六部分 主要设备、工装模具、材料、石英、玻璃器皿等一览表                                                                                 | 65 |
| 3DG <sub>6</sub> , 3DK <sub>2</sub> , 3DK <sub>3</sub> 硅平面管生产所用主要设备                                           | 65 |
| 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> 硅平面外延三极管生产所用主要设备                                                          | 66 |
| 3DG <sub>6</sub> , 3DK <sub>2</sub> , 3DK <sub>3</sub> 生产用主要工具、仪器                                             | 67 |
| 3DG <sub>6</sub> , 3DG <sub>2</sub> , 3DK <sub>2</sub> , 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> 硅平面三极管生产使用石英玻璃器皿 | 68 |
| 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> , 3DG <sub>6</sub> 生产使用主要材料                                               | 69 |
| 3DK <sub>5</sub> , 3DK <sub>6</sub> 生产使用主要材料                                                                  | 71 |

第一部分 工艺流程及其示意图

3DG<sub>6</sub> 工艺流程



## 3DK<sub>2</sub>、3DK<sub>3</sub> 工艺流程



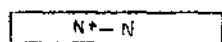
# 3DK<sub>5</sub>、3DK<sub>6</sub> 工艺流程





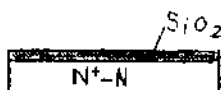
# 硅NPN外延平面型高速小功率晶体管制造工序示意图

1.



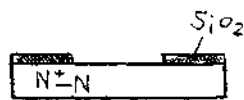
硅正外延片(或硅单晶片)

2.



一次氧化

3.



光刻基区

4.



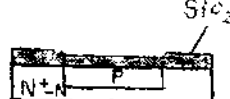
基区硼预淀积

5.



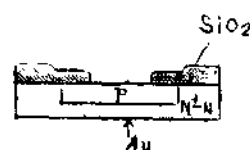
硼再分布及二次氧化

6.



背面蒸金及金扩散

7.



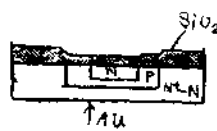
光刻发射区

8.



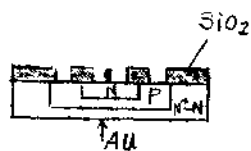
发射区磷扩散

9.



三次氧化

10.



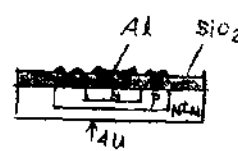
光刻引线孔

11.



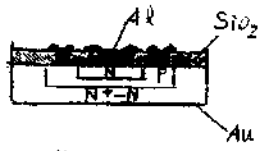
蒸 铝

12.



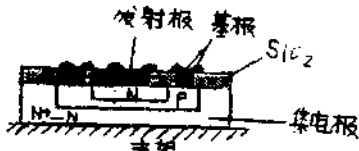
反刻铝电极

13.



背面蒸金及合金化

14.



烧结及热压

## 第二部分 3DG<sub>6</sub>, 3DK<sub>3</sub>, 3DK<sub>2</sub>, 3DK<sub>5</sub>, 3DK<sub>6</sub>

### 等的管芯制造

#### 一 次 氧 化

##### 一 概述：

一次氧化，就是利用硅片在高温下能与氧发生作用生成二氧化硅（ $\text{SiO}_2$ ）的特性，把硅片置于高温炉中，在湿氧气氛下，使硅片表面生长一层6000埃~7000埃（光干涉圈3层左右）的二氧化硅薄膜，以掩蔽硼、磷等杂质向硅内的扩散和保护PN结不受沾污。

一次氧化是制造晶体管管芯的第一道工序，其质量的好坏，对制管有着极大的影响。

为使硅片表面生长较好的氧化膜，必须注意如下两点：

1. 在氧化之前，必须保证硅片有较高的清洁度。如果硅片表面有沾污或不清洁，氧化后经硼、磷扩散形成的二、三极管，将会出现软击穿、反向电流大等现象，严重的甚至会造成整批报废。

2. 准确地控制炉温、水温、时间和氧气流量，是保证生成良好的氧化膜的重要因素。特别是氧气流量对氧化膜的质量影响较大，流量过大，生成的氧化膜会出现鱼鳞状的条纹（即氧化膜的厚度不均匀），流量过小，氧化膜达不到一定的厚度，常用300毫升~400毫升/分为宜。

为了使硅片的氧化层致密、干燥，在光刻涂胶时，使氧化层与光刻胶有良好的粘润性及光刻后腐蚀不致产生浮胶、钻蚀等现象，将湿氧氧化过的硅片，继续在高温（600~800℃）下通干氧20分钟到30分钟。

##### 二 氧化前的准备工作：

1. 按下列要求检验硅片：

| 产品型号                                   | 电 阻 率<br>(欧姆·厘米) | 外延层厚度<br>(微米) | 位 错<br>(个/厘米 <sup>2</sup> ) | 层 错<br>(个/厘米 <sup>2</sup> ) | 备 注   |
|----------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-------|
| 3DG <sub>6</sub>                       | 1—1.5            |               | $\leq 3 \times 10^3$        |                             | 硅单晶片  |
| 3DK <sub>2</sub> 、<br>3DK <sub>5</sub> | 0.7~1.2          | 10~15         | $\leq 10^3$                 | $\leq 10^2$                 | 硅正外延片 |
| 3DK <sub>3</sub> 、<br>3DK <sub>6</sub> | 0.3~0.5          | 7~10          | $\leq 10^3$                 | $\leq 10^2$                 | 硅正外延片 |

此外，还要求硅片表面光洁、无亮斑、小丘、凹坑、高围、拉丝反大的划痕等现象。

2. 清洗硅片。经清洗后的硅片，表面要洁净，应无沾污、水痕及其他痕迹。如发现表面有不清洁的现象，应重新清洗，再行氧化。

3. 把洗气瓶、通气瓶冲洗干净。

三 操作过程：

1. 先将炉温控制在 1180℃、通气瓶水温控制在 90℃，开氧气检查管道是否漏气，并将氧气流量控制在 300 毫升~400 毫升/分；

2. 把硅片装入干燥的石英舟（另装入 1~2 片参考样片，供测量氧化层厚度用），推入高温炉的恒温区，并通入湿氧进行氧化 60 分钟；

3. 将石英舟拉至 600℃~800℃ 的低温区，通入干氧进行处理。

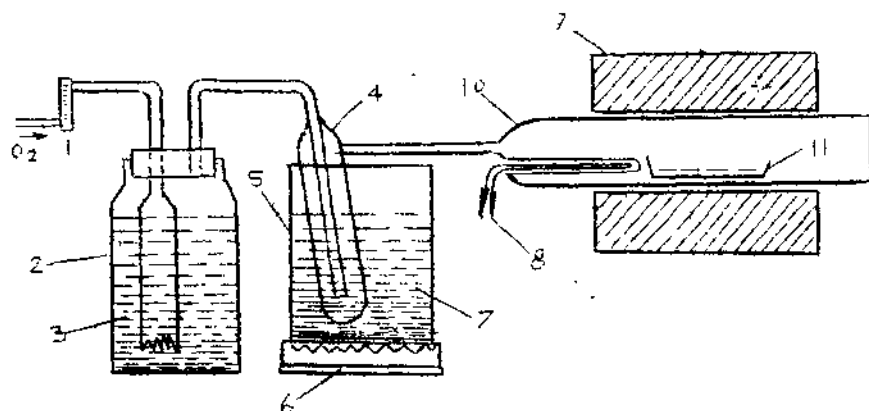
四 注意事项：

1. 氧化过程中，应保持系统的清洁，并注意炉温、水温、氧气流量不使它们发生变化；

2. 送气管道、石英管、石英舟、石英勾（棒）及其他工具每星期清洗一次。

3. 氧化后，硅片表面氧化层应均匀，致密，无斑痕、发花等现象，二氧化硅膜厚度应满足 6000Å~7000Å（光干涉圈 3 圈左右），如氧化膜太薄，应再行氧化。

一次氧化装置示意图：



- 1.流量计； 2.洗气瓶； 3.去离子水； 4.通气  
瓶； 5.玻璃烧杯； 6.电炉； 7.去离子水；  
8.热电偶； 9.高温炉； 10.石英管； 11.放硅片  
石英船

## 光 刻

### 一 概 述：

光刻就是把硅片上规定部位的氧化层刻蚀掉，以便进行硼、磷选择性扩散，和作为硅和铝层接触的引线孔。光刻亦把铝电极刻蚀成一定的图形。

光刻中使用的光致抗蚀剂（以下简称光刻胶），是一种高分子化合物。它起初能溶解于显影剂中，但经紫外线照射后发生聚合作用变成不溶解于显影剂，并且能不受某些腐蚀剂的腐蚀。光刻时，在经过氧化的硅片上（或铝层上）事先涂以光刻胶，在掩模版的掩盖下用紫外线曝光，那些没有被掩模版上的图形挡住的光刻胶发生聚合作用，在显影剂（如丁酮）中显影时，就被保留下来。而那些被掩模版上图形挡住的光刻胶被溶去。在腐蚀液中腐蚀时，没有光刻胶保护的二氧化

化硅（或钎）就受到腐蚀而除去。这样就在二氧化硅上刻蚀出窗口，或将钎层刻蚀成一定的图形。

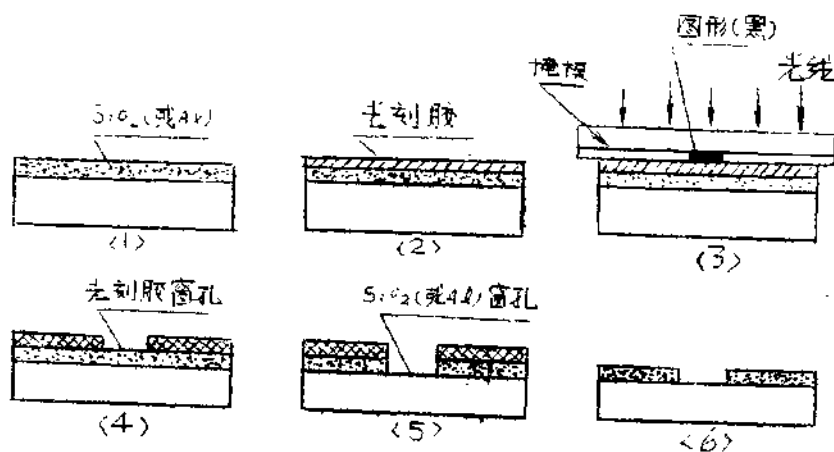
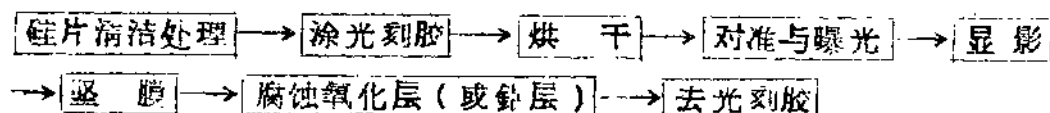
平面型晶体管生产过程中，至少要四次光刻：刻基区、刻发射区、刻引线孔及刻钎电极。每次光刻以一定位置相互套准。上述任何一道工序都直接影响产品的合格率。为保证产品质量，在光刻中特别要注意以下几个问题：

1. 必须特别注意防尘问题。如果在光刻胶中有杂质、灰尘，光刻后就会在氧化层上造成针孔。扩散后使管子低击穿甚至穿通。因而必须保持光刻间的清洁，减少空气中的灰尘。

2. 每当地进行每道工序，以防止发生钻蚀，钻蚀会造成扩散后反向电流大，和低击穿。

### 三 操作过程：

光刻的操作过程为：



光刻流程示意图

说明：(1)氧化；(2)涂光刻胶；(3)对准及曝光；(4)显影；(5)腐蚀氧化层；(6)去光刻胶。

## 1. 硅片清洁处理：

硅片清洁处理是为了除去硅片表面的杂质、水分，增强光刻胶与硅片粘结力，减少钻蚀，避免光刻区发花现象。

对硅片的要求：

- (1) 硅片表面平整，没有小丘、凹坑；
- (2) 硅片表面清洁，无水迹，无沾污，无灰尘；
- (3) 硅氧化层均匀，致密，无斑点，发花等现象。

清洁处理方法：

(1) 刻基区，刻金扩散后发射区，刻引线孔：高温干氧处理，温度  $600-900^{\circ}\text{C}$ ，时间  $20-30$  分钟；

(2) 刻引线孔，刻铝电极： $180^{\circ}\text{C}$  烘  $20$  分钟；

(3) 对于中途搁置较久的片子要重新化学处理后再按上述(1)、(2)分别进行处理；

(4) 二次氧化、三次氧化后立即进行光刻的片子，不需要进行上述处理，可立即进行涂胶。

## 2. 涂光刻胶：

(1) 光刻胶配制：

| 成分： | 原料名称     | 量     | 作用    |
|-----|----------|-------|-------|
|     | 聚乙烯醇肉桂酸酯 | 13克   | 光致抗蚀剂 |
|     | 5-硝基萘    | 0.7克  | 增感剂   |
|     | 环己酮      | 150毫升 | 溶剂    |

配制时，先将聚乙烯醇肉桂酸酯，5-硝基萘溶解在环己酮中，待完全溶解后，用砂蕊漏斗过滤后即可使用。

(2) 将清洁处理好的硅片放在涂胶机转盘的周围，用玻璃棒将光刻胶滴到硅片上，并涂均匀。开启马达使转盘约转  $1$  分钟即可停止。（转速以干涉条纹最宽为准），再将硅片取下放在培养皿中。

(3) 涂胶要求胶膜涂得薄，而厚度均匀，无针孔，与硅片或（铝层）粘合得牢。如胶膜过薄，容易产生针孔，耐蚀能力降低，会使下面的氧化层在腐蚀时受到侵蚀；如胶膜过厚，则分辨率低。

(4) 涂胶操作箱内，要干燥，相对湿度要低于  $50\%$ ，这样粘合较好。

## 3. 烘干

涂好光刻胶的硅片放在180℃烘箱中烘1分钟，以除去溶剂，使胶膜干燥。取出后以黑布遮盖，待对准和曝光。

#### 4. 对准和曝光：

- (1) 将曝光灯打开，待稳定15分钟后方可曝光。
- (2) 用沾有丙酮的棉花将掩模版擦干净，干燥后可用。
- (3) 将掩模版上的图形按要求套准硅片上的图形，对准后稍加压力使掩模版与硅片贴紧。

#### (4) 用曝光灯曝光，一般曝光时间为：

| 基区 | 发射区 | 引线孔 | 反刻铝电极 |
|----|-----|-----|-------|
| 5秒 | 4秒  | 4秒  | 2秒    |

曝光时间根据光刻胶的厚度、室内温度，曝光灯的光强而掌握，曝光不足会使胶膜发黑，曝光过足会起胶，这两种都会引起图形边缘不规则，或者会引起浮胶。

#### 5. 显影：

曝光好的硅片依次浸在丁酮中，各约1分钟，轻轻摇动后取出，即在去离子水中漂洗，再在显微镜下检查。

#### 检查要求：

- (1) 图形清晰，边缘整齐，显影部位没有光刻胶的残迹；
- (2) 除基区图形外，其他三次均要求图形套准。
- (3) 图形未被损坏，胶膜没有受擦伤。

不合要求者返工。

#### 6. 坚膜：

显影合格的硅片送入180℃烘箱坚膜30分钟，以便在腐蚀氧化层时，减少浮胶，提高胶的<sup>抗</sup>蚀能力。

对于反刻铝电极坚膜时间15分钟。

#### 7. 腐蚀去氧化层：

- (1) 腐蚀液配方：

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 氢氟酸(HF)                | 30毫升  |
| 氟化铵(NH <sub>4</sub> F) | 60克   |
| 去离子水(H <sub>2</sub> O) | 100毫升 |
- (2) 先将一硅片放在腐蚀液中腐蚀，以确定腐蚀氧化层所需时间。

然后将其他硅片按试样时间再进行腐蚀。在腐蚀液温度为  $30^{\circ}\text{C}$  时各次氧化层腐蚀时间大致为：

| 基 区   | 发射区  | 引线孔       |
|-------|------|-----------|
| 4 分半钟 | 3 分钟 | 1 分 4 5 秒 |

(3) 腐蚀后的片子在显微镜下观察，要求被腐蚀区域无氧化物的干涉色，边界整齐完好，无钻蚀。

铝反刻的腐蚀及去光刻胶见蒸发工艺。

### 8. 去光刻胶：

(1) 腐蚀氧化层合格的片子用浓硫酸煮去胶膜，倒去硫酸，待硅片冷却后再用去离子水冲净；

(2) 用沾有丙酮的棉花，擦硅片，并在显微镜下检查，应符合下述要求：

- a) 图形完好，不应有人为损伤；
- b) 图形套准，无明显畸变（扩大或缩小）及残缺现象；
- c) 氧化层无明显针孔，无严重发花，光刻区氧化层腐蚀干净。

## 基区硼扩散、二次氧化

### 一 概述：

对于  $\text{NPN}$  硅平面型晶体管，多采用硼元素作为基区扩散杂质。

为了较精确地分别控制硼扩散表面浓度和扩散结深度，采用二次扩散法。即预先在光刻好的基区窗孔淀积硼原子（通称“预淀积”），然后在更高的温度下，使硼原子进一步向硅中扩散（通称“再分布”。此选定的硼扩散区域，即构成  $\text{NPN}$  晶体管的基区。），继而进行第二次氧化（即在扩散好的基区窗孔上方生长一层氧化层，作为发射区磷选择扩散的掩蔽膜。）

基区杂质浓度（硼浓度），主要通过预淀积温度的适当选择来控制；基区扩散深度，则由再分布的温度及时间加以调整。

预淀积的过程，是将硅片置于高温炉中，用干燥氮气携带硼酸三甲酯蒸汽进入高温区进行热分解，生成的三氧化二硼（ $\text{B}_2\text{O}_3$ ）沉积于



硅片表面，作为基区硼扩散的瞬时表面源。

“再分布”的过程，则是把经过预淀积的硅片，置于温度比预淀积更高的高温炉中，在干氧气氛中，使淀积在基区窗孔表面的硼原子向硅片中扩散到一定深度形成PN结的过程。当硼原子扩散到一定深度后，继而用干氧携带具有一定温度（一般为 $90^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$ ）的水蒸汽进入高温炉与硅片发生作用，使经过扩散之后的基区窗孔上方生长一层氧化层，作为发射区磷选择扩散的掩蔽膜。这就是我们常说的二次氧化的过程。

### 三 操作方法：

#### 1. 硼预淀积的操作程序：

##### (1) 淀积前的准备工作：

a) 抽检光刻基区图形，看是否边界整齐、图形完整和有无小岛及氧化层的干涉色。如发现有上述缺陷的图形占 $3 \sim 4\%$ ，则应退回光刻返工；

b) 经过清洁处理的硅片，表面应洁净，如发现硅片表面有不清洁的现象，应重新进行清洁处理；

c) 开启高温炉，使炉温缓慢升高到所需温度。

##### (2) 操作要点：

a) 打开氮气阀，检查送气管道是否堵塞或漏气；

b) 将炉温控制在 $860^{\circ}\text{C} \sim 880^{\circ}\text{C}$ （具体视扩散浓度要求而定）；

c) 调整氮气流速。旁流氮气（稀氮气）控制在 $800$ 毫升/分，携源氮气控制在 $30 \sim 50$ 毫升/分；

d) 把硅片装入石英舟，推入炉中，控制温度平衡。气体交换 $5$ 分钟；

e) 通源 $15$ 分钟，关源通氮 $15$ 分钟；

f) 按前面的操作要点，选择一炉温试样，测其表面电阻率 $\rho_s$ ，如合格（ $\rho_s$ 值需根据磷扩散试样及晶体管成品参数分析结果进行选定，一般 $\rho_s$ 以 $110 \Omega/\square \pm 20 \Omega/\square$ 为宜），则对加工片进行淀积。