

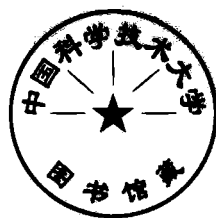
半导体工艺资料

半导体器件制造中的 引线技术

天津市半导体器件厂编

天津市科技局革委会情报组

1972·3



半导体器件制造中的引线技术

1972.3.

天津市半导体器件厂编
天津市科技局革委会情报组出版
天津市第一印刷厂印刷
委托天津市新华书店内部发行

成本费：0.20元

毛主席语录

人的正确思想是从那里来的？是从天上掉下来的吗？不是。是自己头脑里固有的吗？不是。人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

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。

说 明

“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。”在毛主席无产阶级革命路线指引下，工农业生产热气腾腾、欣欣向荣，形势一派大好。

在伟大的七十年代的大好形势鼓舞下，遵照伟大领袖毛主席关于“要认真总结经验”的教导，我们组织出版了一套半导体工艺资料，共七种：《半导体器件制造中的制版技术》，《半导体器件制造中的光刻技术》，《半导体器件制造中的扩散技术》，《半导体器件制造中的衬底制备》，《半导体器件制造中的外延技术》，《半导体器件制造中的纯水制取》，《半导体器件制造中的引线技术》等。除本篇外，其他六种已在新华书店内部发行。

这套资料可供从事于半导体器件制造的广大工人、干部、技术人员参考。由于我们水平所限，在编写过程中定有不少错误之处，请同志们批评指正。

编 者

1972年3月

内 容

第一章 引 言	(1)
第二章 真空蒸发	(1)
§ 2.1 真空蒸发的基本原理	(2)
§ 2.2 真空蒸发的作用	(3)
§ 2.3 电极材料的选择	(4)
§ 2.4 真空蒸发装置	(5)
§ 2.5 影响蒸发质量的因素	(12)
§ 2.6 蒸金	(14)
§ 2.7 蒸发镍铬	(16)
§ 2.8 膜厚的测量	(17)
第三章 合金	(18)
§ 3.1 概述	(18)
§ 3.2 设备及工艺过程	(19)
§ 3.3 各种合金方法的比较	(22)
§ 3.4 影响合金质量的因素	(23)
第四章 烧结	(25)
§ 4.1 烧结的方法及特点	(25)
§ 4.2 烧结工艺的讨论	(28)

第五章 键合..... (29)

§ 5.1 简述 (30)

§ 5.2 热压焊接 (30)

§ 5.3 热压工艺的讨论 (34)

§ 5.4 超声键合 (39)

第一章 引 言

一个完整的器件（或电路）在经过外延、氧化、扩散、光刻等工艺形成 PN 结或电阻后，面临的问题是如何将电极与外引线连接起来。在平面晶体管的制造工艺中，引线连接技术可以包括：铝金属膜的蒸发、合金、烧结以及内外引线的键合等方面。引线技术的主要目的是制作完整良好的欧姆接触电极。

通常一个完善，良好的欧姆接触电极应该满足三个条件：

1. 电极与半导体基片之间的接触必须是纯电阻性的。

2. 接触电阻非常小。

3. 电极与半导体基片之间的接触有一定的机械强度，能承受冲击、振动等外力的影响。

为了使这套半导体工艺资料具有一定的完整性，本小册子主要目的是简单介绍一下引线欧姆接触的全部工艺过程以及各工艺过程中的简单作用原理，供工人同志们作为参考。

第二章 真 空 蒸 发

硅片在经过氧化、光刻、硼扩散、磷扩散等几道工艺处理后，已经形成二个 PN 结并具有放大能力。但是，这还不是一个完整的器件，它还面临着这样一个问题：即如何将晶体管的三个电极引出，以便在使用时与外电路连接。我们知道：半导体与金属引线的直接连接不能得到良好的欧姆接触，必须使电极金属化然后再进行引线连接。为了达到这个目的，在电极金

属化方面采用了蒸发金属（一般是蒸发金和铝）和电镀等方法。由于电镀的方法不容易控制，同时也缺乏工艺基础，所以没有采用。目前平面型器件的生产工艺中，普遍采用蒸发铝的方法，并收到了良好的效果。

§2.1.真空蒸发的基本原理

在高真空系统中，当要进行淀积的材料加热升高到一定温度，材料的蒸汽压力超过了环境的压力时，材料发生了蒸发和升华，并在衬底上淀积成薄膜。这就是真空蒸发的简单原理。

通常，进行蒸发时的压力一般低于 $5 \times 10^{-5} \text{mmHg}$ 。在这种压力下，典型蒸汽分子的平均自由程约为40cm。如果蒸发源至衬底之间的距离（通常称为源距）等于平均自由程，则有50%的蒸汽分子未发生碰撞而直接到达衬底。其它许多蒸汽分子也可到达衬底，但是气体分子可能已与那些在衬底运动的过程中发生碰撞的蒸汽分子发生反应，于是形成受沾染的薄膜，这是我们所不希望的。所以提高真空度和缩小源与衬底间的距离能减少气体在中途碰撞，从而提高蒸发质量。

在蒸发技术中，对蒸发源材料加热的方法有：电阻加热、感应加热、辐射加热或电子束轰击等。

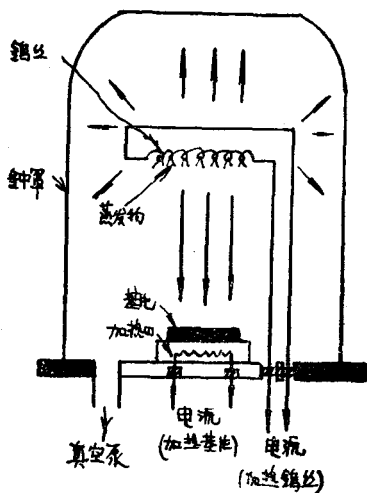


图2.1 真空蒸发室简图

但在实际工作中普遍采用电阻加热。将被蒸发物制成片状或丝状,悬挂在钨丝上,如图2.1所示,在真空度小于 $2 \times 10^{-5} \text{ mmHg}$ 真空的玻璃或金属罩内,在钨丝加热器两端通过大的电流,将钨丝加热,使悬挂在上面的源材料熔化成熔融状态。当继续加大通过钨丝的电流时,源材料自蒸发源向各方向急剧地蒸发,在源距远小于蒸汽分子的平均自由程的基片上,即被淀积上薄膜。在蒸发中,为了增强沾润力及准确控制薄膜的结构,通常应将基片加热。

§ 2.2 真空蒸发的作用

在目前平面晶体管及集成电路的制造工艺中,真空蒸发工艺主要有以下应用:

1. 制作欧姆接触电极;

2. 制作延伸电极;

在制作高频大功率晶体管及超高频低噪音晶体管中,由于电极引线孔的宽度很小(通常为 $3 \sim 10 \mu$ 左右),为了得到良好的欧姆接触及引线压焊工作的可能与方便起见,需要将电极适当地加大。延伸电极就是使铝层延伸到电极以外的 SiO_2 膜上,使引线与接触面积增大,如图2.2。

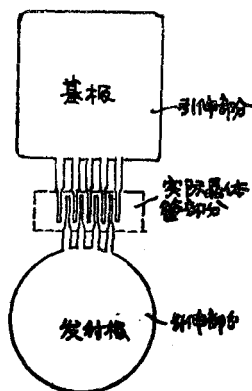


图2.2

3. 制作 P-N 结;

铝(Al)是三价元素,经过蒸发合金后,可以和 n- 型 Si 片形成 P-N 结。如在高速开关电路中经常采用蒸发的 Al 膜与电阻率 $\rho_n = 0.3 \sim 0.7 \Omega \text{ cm}$ 的 Si 片合金后形成肖特基势垒二极管来

提高电路的关断时间。

4. 蒸发金；

在制作开关晶体管时，为了提高开关性能需要对半导体基片掺金。掺金的方法有几种，但常用的是将金蒸发在半导体片的表面上形成一恒定的扩散源，然后在保护气体中进行扩散以达到掺金提高开关速度的目的。

此外，在烧结前为了增加硅片和衬底的沾润，常常在硅片背面蒸金。

5. 蒸发镍铬(Ni Cr)；

在大功率器件中，为了克服大电流下使用时电流集中的缺点，采用了蒸发镍铬电阻的方法，使每个发射极均串接入一镍铬电阻作为镇流元件。

§ 2.3 电极材料的选择

蒸发欧姆接触电极要求与半导体基片实现低阻欧姆接触，可靠性好。对于功率开关器件还要求有良好的横向电导以充分利用发射结面积。根据这些要求来选择蒸发电极材料。目前常用的电极材料有：铝(Al)、金(Au)、镍(Ni)、铅(Pb)、银(Ag)和铬(Cr)。其中应用最普遍的是金和铝。通过生产实践发现采用铝比金有许多优越之处。所以目前均采用铝作蒸发电极的材料。

用金和铝作为蒸发电极材料性能的比较：

(1) 铝可以和硅有良好的沾润，而金较差。

(2) 铝在发射区和基区能同时获得良好的欧姆接触。金与发射区能形成欧姆接触，但是与基区只有满足当基区掺杂浓度大于一定值时，才能形成欧姆接触。

(3) 铝-硅系统的共熔点高于金-硅系统的共熔点。

600°C下铝在硅中的透入系数为0.2，而金在400°C下在硅中透入系数为0.6。因而，在一定的合金深度要求下，铝的蒸发可以允许有较厚的金属化层以改善电极的电流能力。

(4) 铝的价格比金便宜得多，因此适宜于大量生产中使用。

(5) 键合时，虽然蒸发的铝层可以使用金丝和铝丝的热压键合或超声键合，但是常用的金-铝系统在高温下，可以生成“紫斑”从而造成器件的失效。而蒸发金(Au)时，其与金丝键合就没有这样的问题存在。

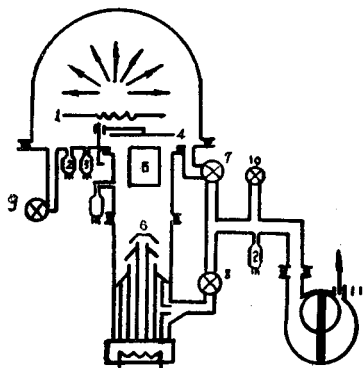


图2.3 真空蒸发系统

- | | |
|-----------|---------|
| 1.电阻加热器; | 2.热电偶管; |
| 3.电离计管; | 4.活动挡板; |
| 5.高真空阀; | 6.油扩散泵; |
| 7.真空阀; | 8.真空阀; |
| 9.真空室放气阀; | 10.放气阀; |
| 11.机械泵。 | |

§2.4真空蒸发装置

目前国内平面晶体管(或电路)生产中所使用的设备虽然型号规格比较多，但是它们的结构都是大致相同的。因此，根据生产的特点将真空蒸发装置分真空蒸发系统、真空度的测量装置、衬底加热器和电极加热器等四部分给以介绍。

(一) 真空蒸发系统

真空蒸发系统的原理如图2.3所示。

对真空蒸发系统的要求是：

①抽气速率大能迅速排除真空室内的气体及其各部件、蒸发源所释放出来的气体；

- ②有良好的防反油装置，防止真空系统对蒸发膜的污染；
- ③便于清洁处理及维修；
- ④操作方便，各真空阀门有良好的密封。

（二）真空度的测量装置

真空度的测量分为低真空测量和高真空测量。低真空的测量常用的装置有电离火花氦漏器、放电管、电偶计等。在透明的玻璃或石英系统中，常用火花氦漏器来进行测量和氦漏。而在金属密封系统中常用的是辉光放电管和电偶计。辉光放电管是根据被电离的气体所发出的颜色（代表气体被电离的程度）来判断真空度的高低。在真空镀膜机中，为了更精确地读出真空度的高低而产用了热偶真空计。

热偶真空计的测量原理为：热电偶管内有一根供通电加热的金属丝，并在加热丝的中间尖端一点上接了一对热电偶丝（热端），当一定的电流流经加热丝时，加热丝温度上升；热电偶由于温差而产生一定的热电势。工作时，热偶规管与被测量的真空系统相联接。如果供给加热丝的加热电源保持恒定的话，则加热丝的温度将取决于周围气体的热传导率；如果气体的成分不变，就取决于气体的压强。因此加热丝的温度将和气体压强有一定的关系，所以测量热电偶的热电势即可知道相应的压强。

高真空的测量是由电离真空计进行的。其简单原理为：

电离规管内由三个电极组成：（1）阴极；（2）带正电位的电力加速板；（3）带负电位的离子收集极。在测量时规管与被测系统连接，使规管内的压强与被测系统的压强相同。当阴极（直热式）通电加热（约1.2安），处于白炽状态，并在加速电极的加速场作用下，即有电子发射。这些电子在高速运动过程中与气体分子相碰撞，使之电离形成离子。离子将被带

负电位的收集极吸收形成离子电源。在规管所规定的条件下，离子电流的强弱与规管内的压强成正比关系。因此只要测得离子电源的大小即可得知相应的气体压强。

在一般的真空蒸发装置中将热偶真空计和电离真空计结合起来使用，这样就可以测量由 $1 \times 10^{-1} \text{mmHg}$ 到 $1 \times 10^{-6} \text{mmHg}$ 这样范围之间的真空度。但是应当注意的是：在低真空时不得加热电离规管，否则将烧毁规管。

（三）衬底加热器

1. 加热器

真空蒸发因为衬底加热方式的不同可以分为“冷蒸”和“热蒸”。所谓冷蒸是指放基片的衬底不加热的方法；热蒸是指在进行蒸发时，放基片的衬底进行加热。为了对衬底进行加热，必须有合适的衬底加热器。通常采用的是传导式的石墨加热器。如图2.4所示。它是利用钨丝作加热丝，石墨作为传热器。这种加热器具有结构简单、成本低廉、加工方便、热辐射小、温度控制灵活、径向温度均匀等优点。缺点是：纵向温度梯度较大；克服的办法是使Si片保持一定的厚度，以保证温度控制良好地重复。另一个缺点是：由于石墨是多孔性物体，在其升温过程中

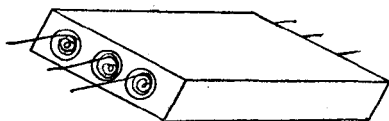


图2.4 石墨加热器

会放气，这就直接影响到蒸发时真空室的真空度。因此，在使用之前石墨加热器的清洁处理是十分必要的；此外在每次蒸发过程中，材料予熔前，先将石墨衬底加热器加热升温至 400°C ，恒温5~10分钟，使石墨内残存气体充分释放，然后再把温度降至蒸发时所需的温度（ $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ），这样基本上就能消除因衬底加热，石墨放气而引起真空度下降的不良影响。

石墨加热器的尺寸大小视投片量的大小及真空室的大小而定。通常的尺寸为 $100 \times 120 \text{mm}^2$ 。应当注意的是加热器的尺寸大时，为了保证在加热器上各点位置蒸发膜层厚度的一致，需要适当加大源距，否则会产生膜厚不均匀的现象。

2. 清洁处理方法：

石墨加热器的处理方法：

- i, 用甲苯浸泡 4 小时；
 - ii, 用 50% 的王水煮沸 30 分钟；
 - iii, 用大量冷热去离子水冲洗（约 6000ml）；
 - iv, 用去离子水煮沸，每次煮沸 5 分钟左右，一直煮到中性为止（用 pH 试纸检验）；
 - v, 在 120°C 烘箱中烘 24 小时以上；
 - vi, 在 1000°C 下，真空高频去气 20 分钟。
- 经上述处理后的石墨加热器即可使用。

3. 加热器温度的测量

为了严格蒸发工艺保证达到良好的效果，需要对衬底加热器进行温度测量和控制。通常采用 $\phi 0.3 \text{mm}$ 的镍铬 (NiCr) — 镍铝 (NiAl) 热电偶丝和毫伏指温计配合直读温度。热电偶的热端置于加热器上，即可读出加热器上的温度，如图 2.5 所示，而加

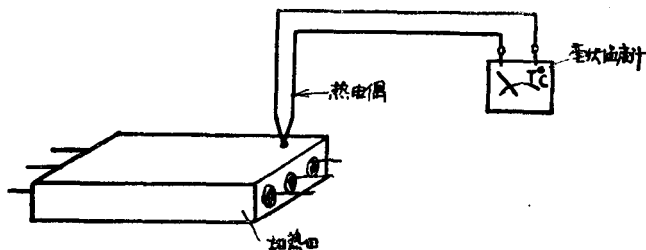


图 2.5 加热器温度的测量

热器的温度可以通过调压变压器来进行调节达到预定的要求。

(四) 电极加热器

在半导体生产工艺中的蒸发，通常是采取由上往下蒸发的形式。也就是说电极加热器本身起加热的作用另外还要承载蒸发源的重量，防止熔融的金属以大颗粒的形式跌落下来。加热器的尺寸和形状对真空蒸发的速率、均匀性、膜层厚度都有很大的影响。为了保证蒸发的质量必须正确选取加热器的形状和尺寸。

通常加热的形式有电子束加热和电阻加热两种。因为电阻加热的设备简单操作方便，所以在一般工作中均采用电阻加热形式。

对于电阻加热器的材料要求是熔点高、能与蒸发源良好地沾润且不与蒸发源形成合金。钨丝和钼丝因为其熔点高、稳定性好且能满足上述要求，所以在实际工作中均采用钨丝和钼丝。

电极加热器的形状有很多种，如V字形、螺旋形、正弦形以及锥兰形等等；这些电极加热器视被蒸发物的面积大小和蒸发膜层厚度的不同而改变。但是为了能够承受更多的被熔融的蒸发源以及使蒸发膜层均匀，一般都是采用多股丝合绕而成。多股丝的接触面积比单股丝大，能吸附更多的蒸发源。另外，这种多股丝的结构能保证熔融金属沿着钨杆流动而保证得到均匀的膜层。

在我们的工作中采用了正弦形钨丝加热器，这种加热器的



图 2.6 正弦加热器

制作是将 5 ~ 7 根 $\phi 0.7 \sim 0.8\text{mm}$ 的钨丝合股拧在一起，然后再用 $\phi 0.5\text{mm}$ 的钨丝密绕而弯成正弦形如图 2.6 所示。

在使用之前必须对加热器进行严格的清洁处理，因为予熔和蒸发时，熔融的铝缩聚成球状。如果钨丝不清洁，其与铝的沾润性不好，熔融的铝会掉落下来，在被蒸发的硅片上形成大的铝球而破坏了被蒸发的表面。另外在予熔和蒸发时，钨丝处于高温状态，这时钨丝上的污物便挥发至 Si 片表面，形成许多小黑点，甚至使整个铝膜发黄或发灰。

钨加热丝的清洁处理：

i, 在 NaOH (或 KOH) 溶液中进行电解腐蚀。

ii, 去离子水冲洗干净。

iii, 用去离子水煮沸直至中性。

iv, 在 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干。

v, 蒸发前在高真空 (真空度高于 10^{-4}mmHg) 加大电压处理。即将钨丝二端加电压至 220 V, 然后冷却至零, 连续三次, 使钨丝上的脏物挥发干净。

在高温加热时, 钨丝和铝会产生轻微合金, 使其脆性增强。因此加热丝连续使用 4~6 次后, 需重新更换。

(五) 工艺操作过程及条件

一、硅片清洁处理：三次光刻后 Si 片必须经过严格的清洁处理，以获得良好的沾润和均匀致密的铝膜。

操作过程如下：

1. 用浓硫酸煮沸二次；
2. 去离子水冲洗干净；
3. 甲苯超声三次，每次 5 分钟；
4. 丙酮超声二次；
5. 乙醇超声一次；
6. 热去离子水冲净；

7. 5% HF 腐蚀 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 以去除煮硫酸而生成的氧化膜；

8. 冷去离子水冲洗干净；
9. 放在红外灯下烘干待装。

二、铝片的清洁处理：我们采用厚0.5mm的金属铝箔作为蒸发电极材料，其纯度一般为99.99%~99.999%，为了保证蒸发质量，使用前必须进行清洁处理，操作过程如下：

1. 甲苯去油，并冲洗干净；
2. 放入煮沸的10%KOH（或NaOH）溶液内腐蚀半分钟；
3. 用60℃左右的去离子水冲洗；
4. 经乙醇脱水稍烘后即可使用；

三、电极蒸发的工艺操作

1. 装硅片、装铝片，盖好活动挡板，放下真空罩，启动机械泵抽真空，待真空度达到 $1 \times 10^{-2} \sim 10^{-3}$ mmHg时，加热扩散泵。

2. 硅片预热：当真空室内的真空度达到 5×10^{-5} mmHg以上时，开始衬底加热，温度达到400℃时，恒温10分钟，使石墨加热器充分放气。然后将衬底温度降至120~200℃。

3. 予熔：当Si片温度降到120~200℃，真空室内的真空度高于 5×10^{-5} mmHg时，将钨加热丝电极两端加电压（即通大电流）使铝箔熔融沾润在钨加热丝上，予熔时钨丝升温速度和加热温度不宜太高或太低，以防止铝箔或熔融的铝球从钨丝上掉下来；

4. 予蒸发：予熔后，略微提高加热电压，使熔融的铝球表面氧化膜完全挥发掉；

5. 蒸发：予蒸发完，立即打开挡板，使铝蒸发在Si片上，蒸发时控制加热电压为110V，蒸发时间为2'30"~3'30"。当钨丝上还留下少许残留的铝时，立即关闭挡板。

6. 再蒸发：关闭挡板以后，把残留的铝全部蒸发完，以获