

半导体译丛

平面晶体管

上海市科学技术编译馆

目 录

1. 硅平面晶体管及其应用	伴野正美等(1)
2. 硅平面晶体管的设计和工艺	J. C. Henderson 等(7)
3. 扩散 PNP 平面晶体管制造工艺	G. Bradshaw 等(12)
4. 二氧化硅薄膜的应用及其形成法	田中利雄(16)
5. 平面扩散	布施 昇(23)
6. 光刻	安福真民(31)
7. 用表面活性剂解决光致抗蚀剂的粘附不良问题	(37)
8. 电子学显微照相	T. C. Hellmers 等(38)
9. 微电子学元件用的显微照片阵列	J. J. Murray 等(43)
10. 在半导体器件生产中用复眼透镜技术制造掩模	W. E. Rudge 等(45)
11. 电解研磨	傳田精一(50)
12. 引线的热压连接	手島寛郎(54)
13. 再氧化期间平面结的退化	F. Barson 等(58)
14. 在硅中硼的扩散	E. L. William (62)
15. 氧化层对磷向硅中扩散的影响	R. B. Allen 等(66)
16. 一种实用的高频等效线路	J. W. Baker (70)
17. 高频晶体管的电学性质	H. G. Bassett 等(75)
18. 半导体器件的制造方法	日本专利(81)

硅平面晶体管及其应用

伴野正美 鈴木仁一郎

最近,半导体器件,尤其是以硅作为材料的晶体管器件的发展是很惊人的。硅晶体管现在在高频、高频大功率及低频大功率等各个领域中正同硅的晶体管相抗衡。特别在最近,人们已经看到硅平面管的显著进步。这种晶体管是以氧化膜来覆盖其表面以提高其可靠性的。在硅的表面上以热生成的氧化膜作为表面覆盖的方法,虽然曾在贝尔研究所进行过,可是,由于 Fairchild 公司很早就对它进行了详尽的研究,已经使平面晶体管商品化了。因为这种晶体管的结表面不露在外面,所以几乎不受其表面影响,故其特点是:稳定、可靠性好、噪声低等。特别和最近外延技术的发展相结合,制成了外延平面晶体管。

下面仅就平面晶体管的结构、制造方法及电学性能方面的特征等重点加以概述。最近 Motorola 公司发表了一种新的平面晶体管——环形晶体管。这是一种为了减少在制造过程中由于容易产生沟道(电导的反型层)而引起不良的影响而设计成的环带状的平面晶体管,下面也将概略地加以介绍。

平面晶体管的构造

图1表示平面晶体管与台式晶体管在结构上的比较。对台式晶体管而言,形成基区的扩散是在硅片的整个表面上同样地进行。而基区部分,由于进行了台面腐蚀,器件的形状就成了台面状,所以基

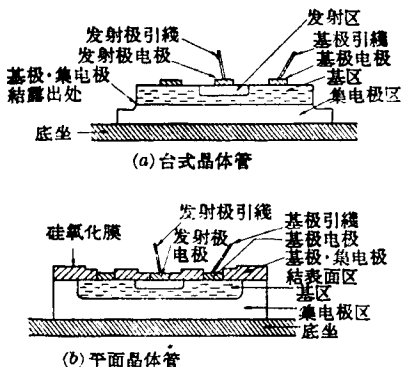


图1 平面和台式晶体管在结构上的比较

极·集电极结的边缘就腐蚀成象图示的斜面。这一露出部分易受周围空气的影响,而使其特性变化、寿命不稳定,噪声增大。而对平面晶体管,仅在需要的部分进行基极的选择扩散,且结表面用氧化膜覆盖着,所以就不象台式晶体管那样的露在外面。因此在制作时必须注意氧化膜与硅片表面之间的沾污,若在制作以后,结表面不被沾污,则表面影响也就小了。有关平面晶体管结构上的特征叙述如下:

1. 整个结表面都有二氧化硅膜覆盖;
2. 超高频晶体管等的电极面积都很细小,若分别在发射极、基极的二氧化硅膜上蒸发一层金属,由于能做成和电极大小无关的大小的引线连接面积,所以装配上的困难就减少了,故器件可期望大量生产;
3. 在台式晶体管中,基极·集电极结的表面,基区浓度比较低,相反在平面晶体管中,基极·集电极结表面,基区浓度就比较高。

平面晶体管的制造

用氧化膜覆盖表面的特殊结构的平面晶体管,其制造过程同台式晶体管也有两、三个不同的特殊过程,且有必要加以注意。其主要不同点如下:

- (1) 因为基极是在氧化膜上以选择扩散而制作的,所以除去氧化膜的光刻操作必须进行3次;
- (2) 为了在与扩散的同时,一边在表面上生成氧化膜,一边进行精密的扩散控制,有必要把扩散分为预备扩散(沉积)和主扩散两次进行;
- (3) 器件完成后,就不再进行腐蚀,因为在扩散前,在氧化膜上所沾污的东西一直保留到最后,所以扩散前的清洁处理以及在扩散过程中的清洁工作都必须特别地加以注意。

1. npn 型平面晶体管的制造过程

图2表示 npn 型平面晶体管和过去的台式晶体管的制造过程的比较。

- (1) 硅片的制备 把具有一定电阻率的硅单晶沿<111>面切割并加以研磨,再腐蚀到需要的厚度而

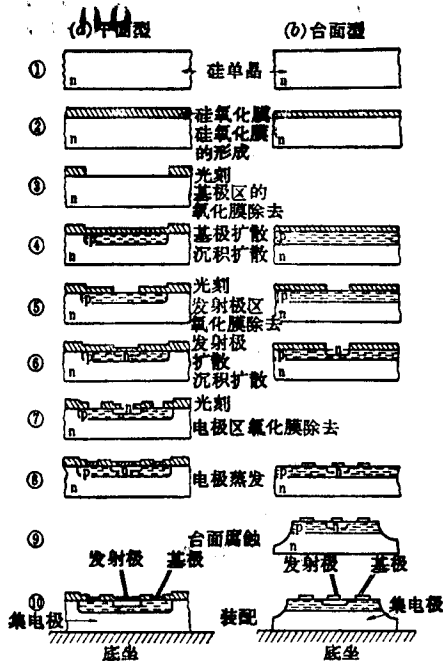


图2 平面晶体管和台面晶体管制造过程的比较

制成薄的硅片,然后进行必要的研磨,把表面抛光成镜面。

(2) **氧化膜的形成** 这是在硅片的表面上为了表面保护,而形成氧化膜的过程,而且在以后进行基极选择扩散时,作为掩蔽使用。把硅片放入模具内,通入含有水蒸气的氧气,进行高温处理,则在硅片的表面就生成一层厚 $5000 \sim 7000 \text{ \AA}$ 的二氧化硅层。这层氧化层,在台式晶体管的情况下,是为了进行发射极选择扩散而制作的;可是在平面晶体管的情况是为了表面保护的作用而制的,所以制造一定厚度而又坚固的氧化层是很重要的。

(3) **光刻,除去基区氧化层** 所谓光刻,即是利用一种印刷技术把形成基区部分的二氧化硅用化学腐蚀除去。光致抗蚀剂对紫外光的感光度极好,而对可见光的感光度很弱,所以是一种非常容易处理的感光剂。并且,感光的部分具有非常稳定的化学性能。首先在硅片的一面涂上一层光致抗蚀剂,使紫外光有选择地通过玻璃图样,这就使基区以外部分感光,再进行显影,仅使感光部分的光致抗蚀剂留下,而制成了图样。然后,将没有光致抗蚀剂的基区部分的氧化层用化学腐蚀除去。这个过程在台式晶体管时就不必要了。

(4) **基极扩散** 为了形成基极而进行 p 型杂质的扩散。在平面晶体管时,象图2过程④所示,基极扩散不是在整个硅面上进行的,作为各晶体管器

件基区部分的扩散都是选择地进行的。这样做成的结构,作为用二氧化硅对集电极·基极结的表面露出部分进行覆盖,也是合适的。用于基极扩散的杂质,在氧化硅层中必须是不能进行扩散的。故一般情况使用硼(二氧化硅膜内的扩散系数是随杂质不同而有很大的不同。硼、锑、磷等,由于它们在二氧化硅中扩散系数非常小,所以可以由二氧化硅来掩蔽)。在台式晶体管中常用的镓,因其能通过氧化层进行扩散,所以在平面管时就不能使用。

在基极的表面上,为了在扩散时,同时生成一层坚固的氧化层,通常是在所谓沉积的预备扩散之后,进行主扩散。在预备扩散的过程中,是把杂质(硼)在被除掉硅氧化层的表面上进行高浓度地扩散。在第二步的主扩散过程中,把这个已进行过高浓度扩散的杂质(硼)再进行扩散,直到规定的表面浓度和深度。因为在主扩散时使用了氧气,所以在进行基极扩散的表面上又生成了氧化层。

(5) **光刻,除去发射极区的氧化膜** 把做发射极部分的二氧化硅用光刻法除掉。这个方法虽然与过程③基区氧化膜除掉的方法相同,可是光刻用的玻璃图样位置的对准必须十分地加以注意。假如其位置对准不好,那么不仅使后面的电极形成带来困难,而且也成了特性不好的原因。

(6) **发射极扩散** 在除掉二氧化硅的部分进行发射极扩散。作为扩散用的杂质也必须能够进行选择扩散的,故一般使用磷。首先进行沉积,使磷在表面高浓度扩散,然后在氧气中进行主扩散。要得到一定的扩散深度和表面浓度,其方法和基极扩散时是相同的。主扩散时,在扩散部分的表面又产生了象图2⑥所示的新的硅氧化层。

(7) **光刻,除掉电极部分的二氧化硅** 再使用光刻的方法把发射极电极和基极电极部分的二氧化硅除掉。这时,掩模位置若不注意对准的话,也会成为特性不好的原因。

在台式晶体管的情况下,发射极扩散后,由于硅的氧化层已经全部除掉了,所以就没有这一过程。

(8) **电极蒸发** 在硅片的表面上蒸发一层铝或银合金、金合金等电极用的金属。在前面过程中被腐蚀掉二氧化硅的部分,金属就被蒸发上去,而形成同硅的欧姆接触。其结果就成了象过程⑧所示的电极,电极以外的整个表面都以二氧化硅覆盖着,这就成了所谓没有露出结表面的平面型结构。

(9) **装配** 把切好的晶体管元件,装在底座上,再在发射极、基极电极上焊上引线。

以后的烘干、封口等过程与一般晶体管相同。

2. *pnp* 型平面晶体管

假如就平面晶体管来说,那么现在市场上所出售的几乎都是 *npn* 型,可是当需要 *npn* 与 *pnp* 组成配套线路时,那么就需要 *pnp* 型的硅的平面晶体管。

在 *pnp* 型的情况下,从 *p* 型单晶开始,在含有水蒸汽的氧气中,做成一层厚度数千埃作掩蔽用的硅的氧化层。把基区的氧化层以光刻的方法除去,基极扩散同 *npn* 型晶体管相同。在 *pnp* 的情况下, Sb_2O_3 或 P_2O_5 作为杂质进行沉积,然后,在氧气流中与主扩散同时制成氧化层。其次,再用光刻法除掉发射极区的氧化层进行发射极扩散,一般用硼作为 *p* 型扩散杂质。硼易被石英吸附,因而很容易损害石英管,所以使用铂盒来进行沉积。在氧气流中进行主扩散,就在表面上生成氧化膜,同时得到一定的发射极深度和基极宽度。

pnp 型平面晶体管,在一般情况下制造是较困难的。这是因为在集电极采用电阻率比较高的 *p* 型单晶的时候,容易引起沟道,即在表面产生了导电类型的反型层,而使反向耐压不高。为了克服这一缺点,所以最近发明了一种环形晶体管。

环形晶体管

最近 Motorola 公司发表了一种叫做“环形”或者是“带状保护”(Band Guard)晶体管,同时发表了反向耐压较高的一系列 *pnp* 硅平面晶体管。在制作 *pnp* 硅平面晶体管时,集电极基区是采用 *p* 型硅单晶,由于沟道现象,不能使用高电阻率的单晶,所以制造集电极反向耐压在 20 伏以上的器件是困难的。但是如果象这种环形结构,那么在 60 伏以上甚至到 100 伏的器件也容易制造。所谓 *pnp* 平面晶体管的沟道现象,即集电极结的表面部分产生一层反型的导电层,而使基区延伸。图 3 表示沟道现象的实例。如果引起了沟道现象,那么就象图 3 所示的一样,在集电极晶体的表面和氧化膜之间产生了一层薄的 *n* 型的反型层,且与 *n* 型的基基层相连通。其结果使



图3 平面晶体管的沟道现象

基极·集电极结的边缘延伸至没有氧化层保护的边缘处而暴露在空气之中。这就与在图1所示的台式管的场合相同,结表面被沾污,使得容易引起表面缺陷。其结果就产生非常大的漏电流,这样就不具备平面结构的优点了。在制造过程中,若不希望产生沟道现象,虽然只要特别加以注意其克服的方法就可以,可是在实际的大量生产过程中,要把沟道做得一点也没有是有困难的。按照这种环形结构的方案,不是使沟道不产生,只不过是把叫做“环形带”或“带状保护”的“带”在基区的周围进行新的设计,使之即使引起了沟道现象,然而也能尽量减少其不良影响。

1. 环形晶体管的构造

图4表示环形晶体管的构造。这是在接近于基区的周围,制作一个同集电极相同而同沟道相反的导电类型的“环形带”,在带的表面覆盖着氧化层。所以产生的沟道即使与基极相连,然而在后来的过程中,由此环形带将其切断,则基极·集电极结就被这个带所挡住。因为其表面覆盖着氧化层,所以其结面就不再露在外面,如此就保持了平面管的所有特征。这种环形结构,最初是作为高反向耐压的硅 *pnp* 晶体管而发明的,然而对 *npn* 晶体管、场效应晶体管以及其他半导体器件也具有同样的效果,其用途十分广泛。

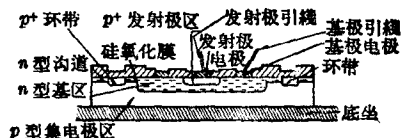


图4 *pnp* 环形晶体管

2. 环形晶体管的制造过程

图5表示环形晶体管的制造过程图。

(1) 硅片的表面氧化 把 *p* 型(*pnp* 型平面管)或 *n* 型(*npn* 型平面管)的硅片放置在含有水蒸汽的氧气中加高温,则在表面就形成了硅的氧化层。这时晶体的电阻率如果高的话,那么在硅片的表面就产生如图所示的导电类型反转的沟道。

(2) 基区氧化层的除去 为了用选择扩散来制作基区,用光刻的方法把作基区部分的氧化层以及同氧化层连在一起的沟道除掉。

(3) 基极扩散 在被除掉二氧化硅的部分进行选择扩散。因为由沟道而产生的反型层与基区具有

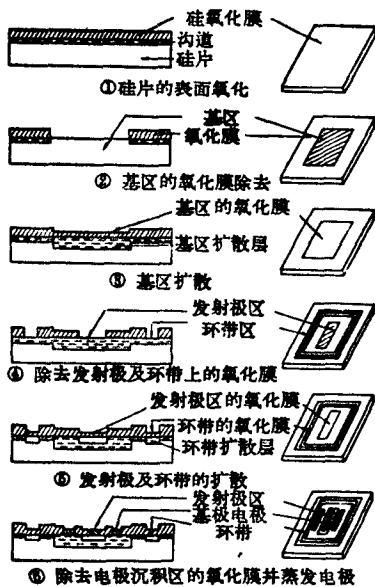


图5 环形晶体管的制造过程

相同的导电类型，所以由于基极扩散而使这一沟道部分与基极部分相连通。其结果，基区在硅片的一面就形成了象图所示一样的较宽的结构。

(4) 除掉发射极和环形带部分的氧化层 为了进行发射极和环形带的扩散，把图中表示的氧化层腐蚀掉。

(5) 发射极和环带的扩散 为了制作发射极和环带的杂质扩散是同时进行的。在被除掉氧化层的那部分上进行扩散而做成环带。环带与集电极具有相同的导电类型，且与集电极相连接。其结果，沟道在接近基区的地方被切断。在扩散的同时，在发射极和环形带的表面上又产生了新的氧化层。这就成了环形晶体管的结构。此后再除掉新生成氧化膜的一部分，以蒸发电极，在底座上装配封口等过程都与一般的平面晶体管相同。

平面晶体管电学性能的特点

象这种以硅氧化层来覆盖其表面，使得表面较稳定的平面晶体管，其特性具有下述特点。

(1) 集电极反向电流(I_{CBO})小 平面晶体管集电极反向电流 I_{CBO} 与一般晶体管比较是很小的。图6表示平面晶体管的 I_{CBO} 的一个例子。一般在小的反向偏压时， I_{CBO} 由某一温度下的热激发载流子所产生的所谓体内反向电流和流过 pn 结表面的漏电流所组成。由于平面晶体管有了表面氧化，所以其

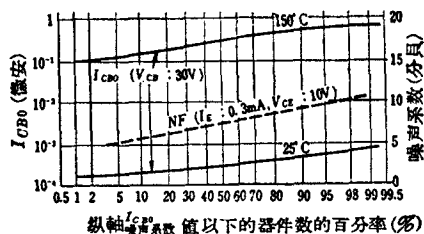


图6 平面晶体管的 I_{CBO} 和噪声系数分布
(器件数各50个)

表面漏电流极小，故 I_{CBO} 几乎为由 pn 结的性质所决定的体内反向电流，因此 I_{CBO} 的值就非常地小。

(2) 小电流的电流放大率大 晶体管的电流放大率在小集电极电流时较小，但随着电流的增加而急剧地增大，直到增大到某一电流值以后，电流再增加而电流放大率却相反缓慢地下降。可是对平面晶体管，即使在小电流也具有所谓大的电流放大率的特征。在小电流电流放大率低，主要是由发射极·基极间的阻挡层中载流子的复合以及结表面的复合所引起的。特别是集电极电流越小的话，那么表面复合的影响就变得越大。在平面晶体管的情况下，因为其结表面有氧化层加以保护，其表面复合速度极小，所以电流放大率的降低是很小的。

(3) 噪声低 一般可以把噪声分为 $1/f$ 噪声和散粒噪声，可是 $1/f$ 噪声在低频范围内能被观测到，与所谓表面状态有很大关系。表面复合中心密度大时，由于少数载流子和多数载流子的产生和复合过程，以致使其复合产生波动。还有包围在晶体管外面的气体分子同吸附在结表面的气体分子进行交换，由于吸附分子的密度发生变化，以致使表面的电荷分布产生波动。这些表面现象就构成了所谓 $1/f$ 噪声大的原因。而平面晶体管的结面不暴露在外面，表面是非常稳定，所以与一般晶体管比较， $1/f$ 噪声较小，噪声系数 (NF) 低。图6表示噪声系数 (NF) 的一个例子。

(4) 可靠性高 平面晶体管的最大优点是它具有很好的可靠性。晶体管特性的变坏主要是由水分子、各种离子、气体分子的吸附以及沾污等作为结的表面现象所引起的。高可靠性的晶体管的密封性十分重要。但是，若把晶体管的高可靠性看作只与密封有关，那是不够的。平面晶体管是由于有硅的氧化层的保护的缘故，所以放在空气中或者即使在高温中也是非常稳定的。图7表示平面晶体管高温储存寿命试验时， I_{CBO} 的变化是很小的 (器件是50个)。

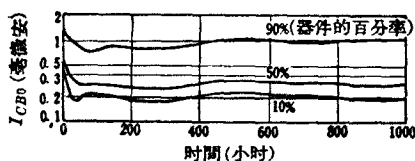


图7 300°C 的寿命試驗結果

平面晶体管的发展

象这种具有集电极反向电流小, 电流放大率在较小电流的情况下比较大, 噪声低以及可靠性好等各种优点的平面晶体管在各方面都有迅速地发展。

1. 大 功 率

大功率晶体管主要用作稳压器、稳流器、各种大功率开关和大功率放大器等等, 这些仪器大部分在工业上使用, 所以都要求有高可靠性。大功率晶体管結面积较大, 其暴露在外面的部分也较多, 所以在高可靠性方面必須要特别注意。因此象这种平面型的結構是非常适宜的。随着軍用、工业用的大功率

平面晶体管不断地发展, 在大功率晶体管中要求有300伏, 400伏等高反压的情况是較多的。若做成平面型的結構, 要想得到高压器件目前仍有一定的困难, 所以如何解决这一問題是今后的任务。

2. 高 頻 大 功 率

高频大功率的用途, 現在虽然是硅的平面晶体管独有的功能, 可是在这类应用中, 要求有一个从小电流到大电流的較广闊的工作范围的情况是較多的。另外还有在广播以及通訊方面几乎都采用这类器件, 所以就要求有較高的可靠性。并且为了能同时滿足高频及大功率的要求, 多数是将其发射极区設計成非常狹, 且具有許多梳状和环状条。但是, 如果做成平面結構的話, 那么从寬度做得很窄而复杂的发射极和基极取出电极就容易了。从这样的要求出发, 和外延技术与三重扩散相結合的平面晶体管不断在发展。

3. 高頻放大和高速开关

硅单晶內載流子的迁移率比鍺小, 在不要求功

表1 平面晶体管特性表

品 名	最 大 額 定 值					电 学 特 性					
	BV_{CE0} (V)	BV_{CB0} (V)	BV_{EB0} (V)	I_C (mA)	P_C (W) ($T_a=25^\circ\text{C}$)	h_{FE}		C_{ob} (pF)		其 他	
						标 准 值	条 件	标 准 值	条 件	标 准 值	条 件
2SC 118 (3重扩散 P1) 70 MC 广播放大用各种 开关, 高频放大	80	60	5	600	13	最小	$V_{CE}: 15V$	最大	$V_{CB}: 15V$	P_{out}	
						10	$I_C: 30mA$	33	$f: 1MC$	最小	$V_{CE}: 40V$ $f: 70MC$ $P_{in}: 0.5W$
2SC 119 (3重扩散 P1) 150 MC 广播放大用各种 开关, 高频放大	75	50	5	600	13	最小	$V_{CE}: 15V$	最大	$V_{CB}: 15V$	P_{out}	
						10	$I_C: 30mA$	33	$f: 1MC$	最小	$V_{CE}: 20V$ $f: 150MC$ $P_{in}: 0.4W$
HS 609 (外延 P1) 低电 平低噪声放大用 { 低电平直流放大 斩波电路	30	20	5	500	0.75	最小	$V_{CE}: 10V$	最大	$V_{CB}: 10V$	NF	
						50	$I_C: 10mA$	25	$f: 1MC$	标准	$V_{CE}: 10V$ $I_E: 0.3mA$ $f: 1KC$
2SC 62 (P1) 高速开关用	40	15	5	50	0.36	最小	$V_{CE}: 10V$	最大	$V_{CB}: 10V$ $I_E: 0$	$r_{db'}$	
						20	$I_C: 10mA$	6.0	$f: 1MC$	最大	$V_{CE}: 10V$ $I_C: 10mA$ $f: 150MC$

率的超高频范围内的用途中，虽然硅晶体管一时被认为是不适合，可是由于平面技术发明以后，就引起了一个变化。如果做成平面型，那么利用氧化层能非常精确地引出小的电极来。从这点来看，器件可以做得更小，频率范围更可以提高。并且 Fairchild 公司就利用了平面晶体管的表面较稳定的特性，不使用原来的底座和管帽，而发表了以树脂密封的一系列的超高频晶体管。还有各种高速计算机各种仪器用的开关管，在高频时要求有非常高的可靠性，所以这仍然有必要考虑平面结构。

4. 通用硅晶体管

在硅晶体管发明初期，由于硅单晶的制备较困难，所以单晶的价格较高，因而硅晶体管的价格也较高。但是最近硅单晶制备技术的迅速发展，单晶的价格也就便宜了，且从平面结构发明以来，再加上生产过程自动化的可能性，那么占原来晶体管成本一半以上的底座和壳管已逐渐不用了，而直接用树脂来密封晶体管已成为可能了。利用这一优点在 G. E. 公司和 Fairchild 公司等早发表了用树脂管壳的硅的晶体管。但是与锗晶体管在这方面的竞争，尚有价格这一问题。但平面晶体管有很多优点，因此降低原价的可能性是能找到的，所以我们可预想这类管子一定会逐渐发展起来的。由于它比

一般晶体管的噪声低，所以在无线电广播及电视等方面的用途有着非常大的潜力。

5. 固体电路及其他的用途

如果利用平面技术，那么不仅使晶体管的表面稳定化，而且可以在一块硅片中，制作出数个电学单元，也能制成一组电路。利用表面硅氧化层的光刻、选择扩散、蒸发等技术也完全能用来制造电阻、电容等元件。由此再使其同晶体管组合就形成了固体电路。目前已经制出的有触发电路、各种门电路、加法电路和移相器等，它具有能做成非常小的图样的优点，这主要在计算机上、军用上、工业上必须做成超小型化的某种特殊的用途上被采用。最后作为实例，在表 1 中给出几种平面管的特性。

自硅平面晶体管发明以来，不到数年时间，技术的进步是十分惊人的。并且今后还会逐渐地发展利用氧化薄膜的新技术。另外具有高可靠性，小电流范围内特性好以及具有低噪声的平面晶体管，和外延技术相结合而成了外延平面晶体管，随着光刻技术的进步以及超小型晶体管的发展，再进一步就是向固体电路的方向发展了。

(张学祿译自日本《电子材料》1964 年，一月号，
第 38~43 页 钱学俊校)

硅平面晶体管的設計和工艺

J. C. Henderson Sylvia J. Wilson

硅平面晶体管由于它们的特性和所期望的可靠性能对設計师們提供相当多的优点,因而它們越来越引人注意。本文先概略叙述这些器件的典型特性和寿命提高的原因,然后詳細叙述它們的制造工艺。

引言

关于鍺合金晶体管的寿命試驗結果,早期的文章中已作过介紹^[1]。当时就提出,即使在恶劣的环境条件下,由于下述理由,硅器件的特性还是比较可靠一些:

(a) 在最大的工作結温下,集电极-基极的漏电流 I_{CBO} 較鍺中小得多,因而在寿命試驗期間可允許有較大的劣化因数。

(b) 制造硅器件时可以使用熔点比較高的材料,所以可以用較高的温度来排除器件和管壳中的气体。此外,还能耐較高的瞬时功率过载和温度过载。

(c) 通常的硅表面常常容易形成一层氧化物薄层,使那些橫貫于暴露的 P-N 結上所不需要的漏电流通道减少。

氧化膜的形成加上器件几何結構的改变,就可

以得到一个既有很高頻率响应而又很可靠的晶体管。这样的晶体管就是硅平面晶体管(参看图 1)。作为目前广泛采用这种結構的 N-P-N 器件的一个例子,其典型特性如下:

(a) 功率額定值可以到 0.5 瓦。

(b) f_T 等于 800 兆周/秒,为共发射极連接的电流增益 h_{fe} 和測量此增益时所用的頻率之乘积(在此頻率範圍內电流增益以 6 分貝/倍頻程下降)。

(c) $h_{fe} = 50 \sim 150$ 。

(d) $V_{(BR)CBO}$ (集电极-基极的击穿电压) = 25 伏。

(e) I_{CBO} 小于 10^{-9} 安培 (25°C)。

寿命測試結果已經証实,用这种新型晶体管結構,可靠性有預期的提高。但对电学性能适合长期海底電纜系統的特种类型晶体管,尚不能作出最后的判断。下面各节就設計和制造的主要特点作一概述。

平面晶体管的基本結構

这种器件两个最主要的特点是:

(i) 晶体管的有源部分,全用半导体片的一面作成。

(ii) 器件中所有的 P-N 結都由二氧化硅覆盖层保护着。

从硅 N-P-N 平面器件的截面图(参看图 2)可看到,在片子表面 P-N 結露出的地方,約有一微米厚的氧化物薄层覆盖着表面并保护着易损伤的区域不受表面湿气和污染的影响。

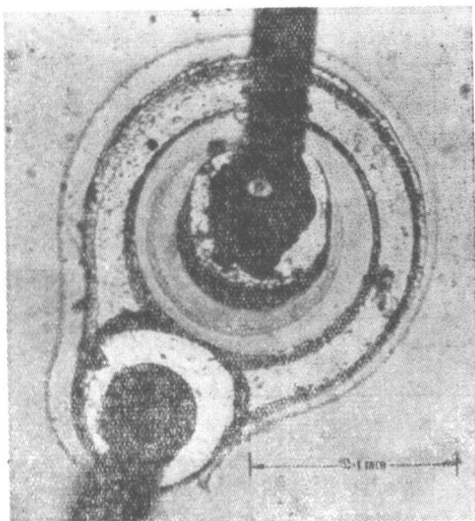


图 1 硅平面晶体管

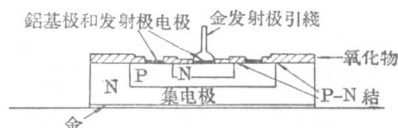


图 2 N-P-N 硅平面晶体管截面图

制 造 程 序

氧化 N 型硅单晶薄片,再用称为“光致抗蚀剂”的象清漆的物质覆盖其上。这种抗蚀剂具有能被紫外綫硬化而耐酸的性质。

将确定数百个晶体管的形状和位置的光刻掩模跟片子的一边紧贴,以便光照射之后,溶解掉沒有曝光的部分,形成露出氧化物的窗口。再腐蚀掉这些窗口中的氧化物,除去剩下的抗蚀剂,在高温下将 P 型杂质扩散进硅片露出的区域。窗口里面 P 型和 N 型杂质平衡的地方,就形成一个 P-N 結(集电极-基极結)。在整个表面上进一步生长一层氧化物覆盖层。用第二种光刻掩模并再度使用光致抗蚀剂、腐蚀和扩散技术(这次用 N 型杂质),在第一次扩散区域内形成发射极-基极結。最后,在整个片子上生长一层氧化物。

再使用光致抗蚀剂和腐蚀技术,使金属膜蒸发在硅片上并合金,以形成一个作連接引綫用的发射极和基极区域。然后,片子上所有晶体管都作电学测试,分开,并裝在它們的管座上。接着就連接引綫并封装每一个器件,最后将管壳作漏損测试。

在下面各节中,将更全面地来討論制造方面的各个工艺。

硅 的 制 备

将 N 型杂质渗入一单晶硅錠,获得約 1 欧姆-厘米的电阻率。也就是說,对硅加入这样一种元素,它对晶格能施出参与导电过程的电子。在硅平面晶体管中,这种元素就是磷。用金剛钻鋸将掺杂硅錠切成小片以获得直径为 2 厘米厚为 0.3 毫米的片子。用氧化铝粉和細金剛砂研磨片子的两面,以产生一个高度抛光的平整表面。选择一面来加工并作电解腐蚀,以除去在切割和抛光时所产生的加工損伤。腐蚀时,从这一面除去約 35 微米厚的硅,而表面的平整度在一微米的范围以內,所得片子最終的厚度为 0.1 毫米。

氧 化

将上面所制得的片子在一个大气压的水蒸汽中用 1000°C 的温度加热約一小时,使整个片受到氧化。刚刚取出来的时候,由于表面有氧化物薄膜,片子呈

均匀的深藍色,外观上类似于“張开”的照象机镜头。

生长这样的氧化物还有另外一些方法。如将片子在純氧或高压水蒸汽中加热。然而任何一种特殊方法的相对优点,都由諸如氧化物的均匀性(即沒有針孔)、自由水分子的数量、陷在薄膜中其它杂质的数量、以及生成所需厚度薄膜之难易程度和所需时间的考虑来决定。

在器件制造的以后步骤中,片子被重新送入氧化炉以进一步生长一层氧化物膜。这些氧化物或多或少都含有一些附加的 P 型和 N 型杂质,因而产生硼硅玻璃或磷硅玻璃。不过,即使这些玻璃被掺杂到最大限度的情况下,通过这些氧化物层所测得的漏电流,都比最后的器件通常所具有的漏电流小若干个数量級。

掩 蔽 和 腐 蝕

因为在一个片子上一次至少可作一批三百个相同的器件,所以在氧化过的硅片上第一道工序便是确定最終晶体管的位置。在片子的整个頂层上要涂

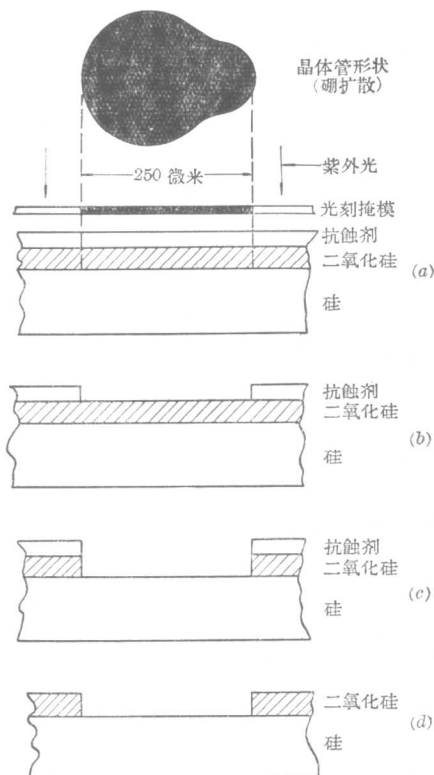


图 3 显示氧化物窗口形成的光致抗蚀过程

(a) 抗蚀剂曝光; (b) 显影以后; (c) 除去氧化物; (d) 除去抗蚀剂和硅片准备扩散

上一层均匀的称为光致抗蚀剂的象清漆的物质。当它曝光于紫外线时,这种光致抗蚀剂就硬化了。如果在紫外线束中插入确定晶体管形状的掩模[参看图3(a)],则未曝光的部分以后可用有机溶液溶解掉[图3(b)]。使剩下的抗蚀剂干燥,并在200°C下烘焙,使之进一步硬化。片子就可用来腐蚀。

腐蚀(包括氟化铵和氢氟酸)除去抗蚀剂窗口中的二氧化硅[图3(c)],最后又在氧化剂中煮沸来除去抗蚀剂本身[图3(d)]。这样,片子就可备第一次扩散了。

在制造器件的各个步骤中,光致抗蚀剂工序基本上是类似的,不同之处仅在于光刻掩模的几何形状。需要成套的四种独立的掩模:一种是确定集电

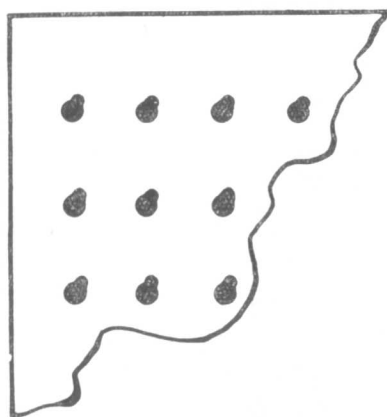


图4 给出晶体管图样排列之典型光刻掩模的截面图(放大20倍)

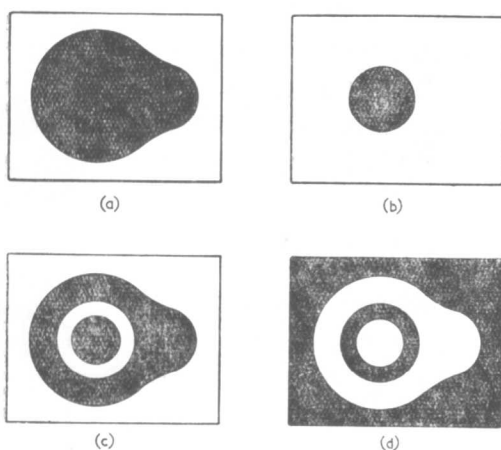


图5 对一个晶体管的一组掩模放大图(放大100倍)

(a) 集电极扩散区; (b) 发射极扩散区;
(c) 发射极和基极接触区; (d) 铝蒸发后的发射极和基极接触区

极区(示于图4);一种作发射极扩散;一种是雕出发射极和基极接触区,而最后一种是确定蒸发接触区。这些掩模都是用分步-重复照相机作成。在一个分辨能力很高的照相底板上,使单个图形连续曝光;在每次曝光之间,使底板相对于照相机横向运动。因为每一种掩模都必须跟本组下一种掩模准确对准,因此照相底板上每一个象的位置必须高度精确[图5(a)~(d)]。用一种特殊的夹具来达到这种对准。

扩 散

第一次扩散,即硼的扩散,硼为一种P型杂质,它从晶格接受电子,晶格就留下一个空穴,所以以空穴导电;当扩散的P型杂质过补偿已经存在的N型杂质后就产生一净P型区域。因为氧化物对扩散剂起一种掩蔽作用,所以这种导电类型的反转仅发生在氧化物当中的孔内,除了这些地方之外,并不发生这种反转。最后在窗口下面形成的杂质浓度分布示于图6,在两种杂质浓度相等的地方(但符号相反)形成一个P-N结。此第一次扩散就形成集电极-基极结。

有很多实现这种扩散过程的方法,但这里仅叙述在加热炉管中的连续气相扩散。从外部加热一个长数呎直径约2吋的石英管,结果沿着此管形成两个温度不同的区域。硅片放在温度比较高(比如说1100~1200°C)的区域,而在温度比较低的区域,放置扩散源,所用的源为N型或P型杂质氧化物或其他化合物。将惰性运载气体(如氮)从源区到扩散区通过炉子。将所要之杂质连续沉积在氧化物中的小窗口内,并经过几小时扩散到硅里面。如图2所示,这次扩散之后所产生的P-N结在初始表面以下约3微米,而且由初始的氧化物层保护起来。

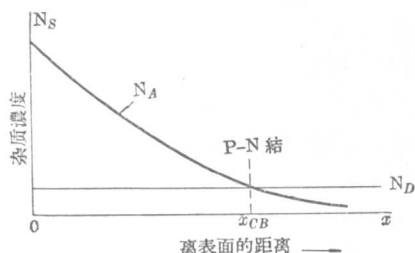


图6 第一次扩散后的杂质分布

N_A = 受主数(硼)
 N_D = 施主数(磷)
 N_s = 表面浓度
 x_{CB} = 集电极-基极 P-N 结位置

从硼扩散炉中取出硅片，并在整个片子上进一步生长氧化物。这种氧化物在比较低的温度下生长，在集电极窗口中厚约 0.5 微米。

现在，将第二种掩模放在原图形的中心，同时用光致抗蚀剂技术在新生长的氧化物上腐蚀出一组确定发射极区的新孔。将硅片再转到第二个扩散炉，设计类似于第一个炉子，不过杂质是磷而已。紧接在这些窗下面的区域，又重新转变为 N 型，这样形成的 P-N 结恰好在发射极窗口的外边，到达硅表面，且在氧化物下面其深度在表面以下约 2.5 微米。典型的杂质分布以及发射极结和集电极结的位置示于图 7。

最后，将片子又转入氧化炉，并在整个片子上进一步生长一层氧化物。

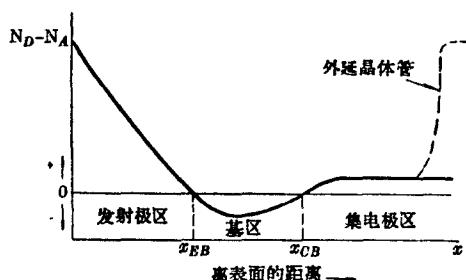


图 7 具有发射极和集电极 P-N 结位置的净杂质浓度

N_A = 受主数 (硼)

N_D = 施主数 (磷)

x_{EB} = 发射极-基极 P-N 结位置

x_{CB} = 集电极-基极 P-N 结位置

电极蒸发与合金

现在用第三种掩模来标出在发射极扩散区中心作发射极连接用的小孔位置，以及作基极连接用的外边同心环的位置，并从片子的背面以及这些区域将氧化物腐蚀掉。将一层铝薄膜蒸发到温度为 300°C 的片子的整个正面。蒸发必须在高真空和特别清洁的条件下进行，所用典型的真空系统全由不锈钢构成，在 400°C 能排气并能达到 10^{-7} 毫米水银柱高的压力。

用第四种掩模时，将接触区用光致抗蚀剂保护起来，并用氢氧化钠腐蚀液除去其他地方的铝。把片子再转到真空系统，并刚好加热到铝-硅共熔温度 (577°C) 以上。然后在背面蒸发一层金薄膜，并刚好在金-硅合金共熔温度 370°C 以上跟背面合金，以提供一个集电极区的大面积连接。这些合金过程仅对

晶体管的适当区域提供低电阻连接，而对扩散过程所产生的 P-N 结没有任何影响。

割裂和引线连接

到此为止片子上所有晶体管都基本工序都完成了，因而在下一步就可进行初测。将片子在显微镜下装配，把细金属丝探针依次放到每一个晶体管上，并记录电流增益和击穿电压。对任何失效的器件，在片子上都要作出标记，以便下一步将它们挑出来。

下一道工序是割裂片子，将晶体管组划分成单个的单元，其形状很象“巧克力糖块”的样子，然后再把片子碎裂成约一毫米见方的方块。

将有基极和发射极引出线管脚的镀金管座（即晶体管外壳的底座）加热到约 400°C，在两根引出线管脚之间的适当位置使硅小方块合金。

发射极电极、基极电极跟引出线管脚之间的连接，目前是用直径约 25 微米的金属丝。连接方法有两种，它们都称为热压焊接，即在结合加热加压的情况下形成连接，因而要发生局部形变以及局部熔融或合金，但是，在引线跟电极接触的最后形状这一方面，两种方法有所不同。一种更为普遍的连接方法称为凿接。在这种连接方法中，引线横放于基区或发射极区，用一很钝的小凿使引线变形而跟铝硅合金区紧密接触。从机械强度观点来看，称为球形或钉头形连接的第二种方法，比较起来还要好一些。为要作这种连接，引线要通过一根玻璃或碳化钨毛细管，使引线一端熔化以形成一个小球，将引线的球端下放跟铝电极接触，并加压使之变形以得到对电极区的连接具有钉头状的外形。

最适合作引线的两种金属是金和铝，目前仅金适合作钉头形连接。理想地，应当使用球 (ball-bonded) 铝线，但由于生产球端铝线很困难（因为在通常形成球的过程中铝太容易氧化），所以现在还是使用金。

用金是并不满意的，因为它和铝形成金-铝化合物，由于颜色之故，通常将这种化合物称为“紫斑”。这种化合物虽说本质上是金属，但很脆，且能由于引线损坏使晶体管失效。此外，还能形成金-铝-硅化合物，这种化合物在纯态时被认为是非金属，同样很脆，因而也能引起引线损坏。对用金的另外一个看法是，它比较容易从连接区扩散进入发射极和集电极之间的基区，因而如果要求 20 年的工作寿命，则器件的电学性质有些变化。然而，由于集电极

电极跟基区的距离比较大,因而集电极和管座的连接使用金还是允许的。

密封和漏損測試

目前使用的晶体管密封有很多形式,这里仅叙述全金属“帽頂”(top-hat)型的管壳。大多数这种形式的商品平面晶体管都用充有氮气的电焊柔鋼或鍍管壳。然而,管壳里面究竟充以某种干燥的惰性气体好呢,还是抽空好,这个问题目前尚无定论。无疑,抽气的管壳比较贵一些。但由于管壳中来自有源晶体管的气体而使热传导有所改善,这个小小的优点在将来使用細引綫的高頻晶体管中,也許是很重要的。而用在人造卫星上的晶体管,尤其它們要通过上层大气层中的輻射带时,看来就应当选择真空管壳了。例如,已經报告过,充气的晶体管,由于輻射,气体变为离子状态,同时这些离子被半导体表面所吸附,特別在有源区加上一定的偏压时,则晶体管的电学特性将要退化。显然,表面沒有氧化物鈍化的硅器件才会有这种結果,不过要証实平面器件有无这种效应还須做一些工作。

然而,要求无漏損的外壳是非常显然的。已經指出,由于冷焊鋼管壳在封接操作期間仅仅只有少量的金属和气体放出而进入管壳,所以不論充气或真空密封,冷焊鋼管壳最終都是比較理想的。

漏損檢驗

目前一般使用两种檢漏方法。一种方法是用质谱仪測量从封壳漏出的氮气。另一种方法是測量在高压下压入管壳中的氮¹⁵γ輻射。两种方法都可以測定 10^{-12} 大气压·立方厘米/秒这样低的漏速。然而因为γ輻射的半衰期約有10年,所以,任何一种漏入的气体,不一定会使电学性质蜕变。因为这个理由,以及氮气比較容易控制,所以第一种方法还是比较理想的。

外延平面結構

参考图2就可以估計到,平面晶体管的这种結

构,将会給电路設計师带来很大的困难。特別是在脉冲应用时更是如此。在发射极下面的集电极P-N結和跟管壳相連的集电极之間的硅片,把不利的串联电阻引入集电极电路。本来可以把硅片作得薄一点,可是当集电极在表面以下仅仅約2.5微米时,控制最后的結構就太困难了。另一解决办法所謂作平面外延結構。“外延”就是在一种晶体上以同样的取向生长另一种晶体結構。用来作这种晶体管的材料由重掺杂硅衬底(即它的电阻率非常低)构成,在它上面热生长一层高电阻率硅薄层;就在这一高电阻率薄层中作平面結構(参看图7)。衬底有两个用处:(a)器件的机械支撑,(b)对管壳或集电极引綫的低电阻連接,然而外延晶体管不一定是平面器件。从片子的一边制造任何晶体管,都可使用这种技术。事实上,外延鍍、硅台式晶体管都是用这种方法制造的。

严格說,假如不要求 $V_{CE(SAT)}$ 很低,外延型的可靠性还是有疑問的。常常这种衬底材料所含的晶体缺陷比一般平面型为多,因此,尚需証实这些缺陷不致影响器件的寿命。

結 論

硅平面晶体管作为高可靠性的器件有着极大的前途。不过,只有对它們作广泛的寿命試驗后,才能証实这一点。同时,适用于电綫和卫星系統之平面晶体管的若干生产工艺問題也正在研究。

参 考 文 献

- [1] Henderson, J. C., Assessment of Transistor Life, P. O. E. E. J., Vol. 53, p. 236, Jan. 1961.
 - [2] Baker, D and Tillman, J. R., Preparation of Very Flat Surfaces of Silicon by Electropolishing, Solid State Electronics, Vol. 6, No. 6, Nov-Dec. 1963.
 - [3] Baker, D., Inleakage and Outgassing of Transistors Encapsulated by Cold Welding and by Electric Welding, Le Vide, No. 106, p. 363, July-Aug. 1963.
- (彭兴文譯自《The Post Office Electrical Engineers' Journal》1964, Vol. 56, Part 4, 第239~243頁)

扩散 PNP 平面晶体管制造工艺

G. Bradshaw C. H. Taylor

本文对制造 PNP 平面晶体管必要的工序和工艺给出了简要的叙述。关于 PNP 平面晶体管,作者知道仅发表过一篇论文^[1],而关于 NPN 型的论著却很多。PNP 硅平面晶体管不如 NPN 流行,主要是由于其基区内少数载流子迁移率较低而造成不良的电学特性,以及在氧化物-硅交界面形成反势层而带来制造上的特殊困难。然而,它们跟 NPN 型互补成对却有特殊的用途;在非常低的集电极电流下,它们尚有可用的电流增益,同时 PNP 型平面管也可用于某些半导体集成电路。

用一定电阻率和质量的硅单晶片,制造 PNP 硅平面晶体管,有六道主要工序:(1)片子制备,(2)氧化物生长,(3)光刻,(4)扩散,(5)蒸发与接触区的微合金化,(6)切成小块和引线连接。一般说来,制造任何硅平面型器件或集成电路,这六道工序都是共通的。

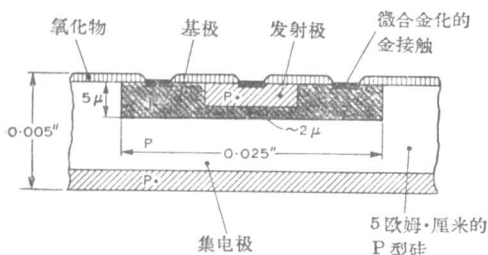


图1 PNP 平面型晶体管的结构(垂直方向未按比例)。这种结构给出了具有金属化接触区的扩散基极和发射极区。将 P⁺ 扩散到集电极区,使有一低电阻率的接触。应当注意到 PN 结是由硅表面的氧化物保护着

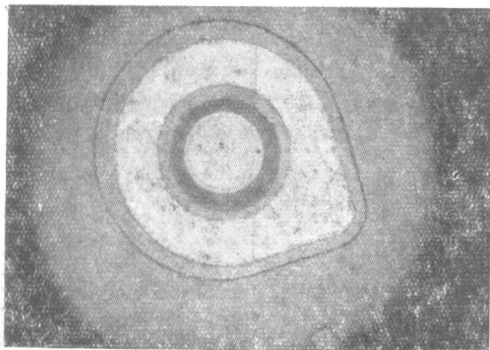


图2 PNP 硅平面晶体管(直径为 0.025 吋)的照片。亮点和亮环为金属化的发射极和基极接触区。集电极接触作在反面。这是在一个片子上同时形成的 121 只晶体管陣中的一个

这些工序分别详述如下:

这里所描述的晶体管为“梨-滴”(pear-drop)形的,其直径为 0.025 吋。作这种特殊图样是为了以后工序操作的方便。如果为了某一种特殊需要而要求改变这种图样的形状和大小,那是一桩比较简单的事情。图1为典型平面晶体管结构的正视图,而图2为其俯视图照片。对于高频小功率晶体管,每个梨状图样的外径可以小到 0.005 吋。不过,现在使用矩形形状的图样更为普遍,特别是晶体管结合成硅集成电路的场合下更是如此,这是因为这种形状本身就使电路安排更方便一些。

制造工序

把硅片研磨和抛光,并在其一面生长一层氧化膜。使用光刻技术,在氧化膜上蚀刻图样,通过图样,硼和磷有选择地扩散到硅中去,结果产生一排 PNP 晶体管结构。然后使接触区金属化,并将片子切割成单个晶体管的小片。把这些晶体管安装在管座上,并热压连接细金属引线把小片连接到管脚上。

这些工序是按器件进行的一般次序来描述的。为了简洁,在去离子水中的经常的中间漂洗和冲洗,以及在三氯乙烯或异丙醇中脱脂这些细节,就不叙述了。

片子制备

将直径为 0.875 吋厚为 0.013 吋和具有所需电阻率(通常为 1~5 欧姆·厘米)的 P 型硅片研磨和腐蚀抛光。使片子的厚度减薄到约 0.005 吋并产生一个具有约 300 埃光洁度的镜面。研磨的磨料是用粒

度为 11 微米大小的氧化铝粉,腐蚀抛光是在搅动的硝酸(95%)和氢氟酸(5%)中进行。对这种加工,化学抛光有某些胜过机械抛光的优点,因而现在它是这两种方法中更为流行的一种。制备抛光硅片的时间已从几小时减少到少于 1 小时;它消除了为除去由机械抛光所引起的加工损伤层所附加的腐蚀工序,同时,这样的抛光片没有伤痕,机械应变也可忽略。最后这个优点,使片子在其后的工序中很少损耗。

将研磨过的片子,放入盛有恒温(约 30°C)腐蚀剂的聚乙烯塑胶容器里。用鼓泡的氮气通过腐蚀液使之受到搅动,使得片子在腐蚀剂中不规则的“翻滚”,从而消除了在任何方向上的择优腐蚀。25 分钟以后,迅速用去离子水冲洗腐蚀剂,再取出片子。在这段时间内,片子每一边被腐蚀掉约 0.004 吋。

氧化物生长

在片子的抛光面上,热生长一层 5000 埃厚的二

氧化硅层,作为第一次扩散用的高温掩蔽介质。这层氧化物是在 1100°C 的石英炉管内一个大气压的水蒸汽中历时 36 分钟生成的。

光刻(i)

用光刻技术,在硅片一边的氧化物中刻蚀出第一次扩散图样。将画成原尺寸 500 倍的单个主图,进行照相影缩,然后分步重复地制成这样的光掩模:即在每一个片子上形成一个 121 只晶体管图样的矩阵。第一次扩散用的光掩模图样示于图 3(a)。为了在片子的氧化物上产生这样的图样,在它上面以旋转方式涂上一层柯达光致抗蚀剂(K. P. R)薄膜,并使之干燥,然后,将片子置于光刻的调整夹具上,将第一次扩散图样的光刻掩模放在片子上面并和片子紧密接触。该片子在通过光刻掩模的紫外线下曝光。其后,柯达光致抗蚀剂膜在三氯乙烯蒸汽中显影,并烘焙使之硬化。这样就相当于在光刻掩模透

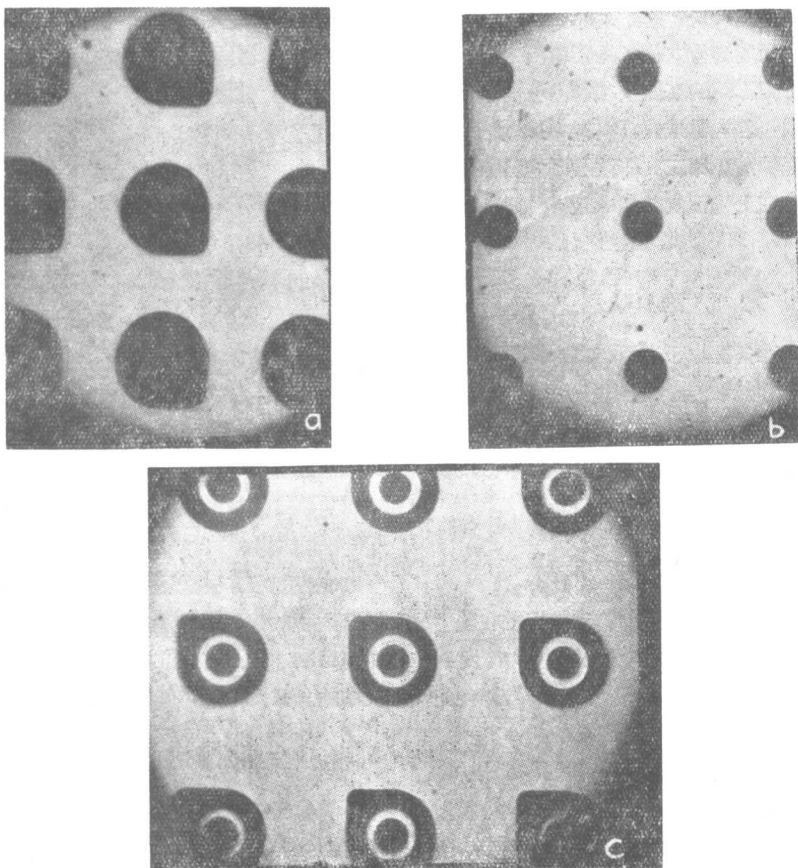


图 3 直径为 0.025 吋的 PNP 硅平面晶体管的光掩模图样。

这些是 11×11 矩阵之一部分

- (a) 基极区域的第一次扩散图样; (b) 发射极区域的第二次扩散图样;
(c) 发射极和基极接触的图样

明区域的氧化物頂上形成抗蝕剂图样。

用 5:1 的氟化鉍/氫氟酸腐蝕剂腐蝕掉柯达光致抗蝕剂掩蔽层窗口下的氧化物。最后用二氯甲烷除去柯达光致抗蝕剂,而在片子上留下了相当于图 3(a)的氧化物图样,即图 3(a)中的黑影区域相当于氧化物中的“窗”。向硅中的扩散就是通过这些窗口进行的。

扩 散(i)

扩散工序在开管炉中进行。第一次扩散用磷作为扩散剂,而在原始片子材料中产生一个 N 型基区。这一道工序分两个阶段。在第一阶段或沉积阶段,将硅片和紅磷源分别保持在 800°C 和 400°C 中 12 分钟。这就在片子表面产生一磷层。第二阶段或“推进”(drive-in)阶段,片子在 1250°C 保持 77 分钟。在这两个阶段都要有运载气体(99% 的氫和 1% 的氧)流经炉子。这样,有可能在整个已扩散区域上再形成一薄层氧化膜,以备下步光刻之用。此次扩散产生一个深度約为 5 微米的集电极-基极結,并具有 10^{18} 原子/厘米³ 的表面杂质濃度。因为发生向旁边的扩散,这样形成的 PN 結在硅表面被初始的氧化物保护着。第二次扩散要改变第一次扩散的結果,这在上述預定計劃中已考虑了这一点。

光 刻(ii)

这次光刻是准备把片子进行第二次扩散。除了使用图 3(b) 光刻掩模外,步驟与第一次所述相同。在从新生长的氧化物中腐蝕出圆形窗口,并和片子上第一次所产生的图 3(a) 中的扩散图样同心。这就要細心地調整夹具。

扩 散(ii)

第二次扩散用硼作为扩散剂,这次扩散在硅中产生一 P-型区,在原先扩散的 N-型层中形成发射极-基极結。同时,也把硼扩散进片子反面,以便为集电极接触形成低电阻率的 P⁺ 层。

将片子和三氧化硼源在 1200°C 保持 20 分钟。然后以 99% 的氫和 1% 的氧通过管炉,在整个扩散面上再生长一层氧化层。发射結深度为 3 微米,表面杂质濃度为 10^{20} 原子/厘米³。

图 4 为第二次扩散后的一个晶体管照片。图 5 为显示出 PNP 结构的着色斜断面——中心的暗色帶是 2 微米的基区。

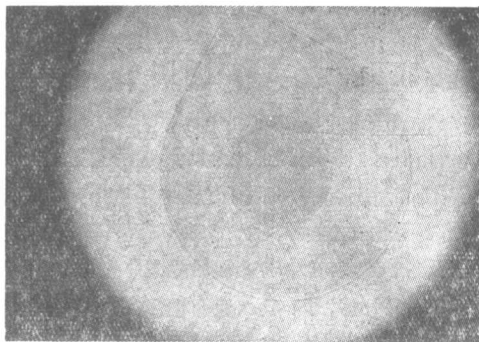


图 4 基极和发射极扩散后的 PNP 硅平面晶体管(直径 0.025 吋)。在这一阶段,晶体管是由不同厚度的氧化物完全覆盖的,使在圍繞集电极材料中易辨认出圆形发射极区和梨-滴形的基极区



图 5 PNP 硅平面晶体管的斜断面,用銅染色来辨认在表层下 3 微米处的 2 微米 N-型基极区

光 刻(iii)

在发射极和基极区域的氧化物上,蝕刻出如图 3(c) 所示的发射极和基极接触图样。这个图样应細心与已在片子上的氧化物图样对准。图 6 表示此阶段中的一排四个晶体管的照片。

蒸发和接触区微合金化

将片子置于压力为 10^{-5} 毫米汞柱的蒸发器中,加热到 400°C 。热后把純金蒸发到片子上,金就合金入露出的硅接触区中,深度約为 0.25 微米。接着用二氯甲烷刷去沉淀在氧化物上的金。到这个阶段,可以把片子安装在夹具上,在片子的反面作成集电极接触,而用探针触及发射极和基极接触区来测

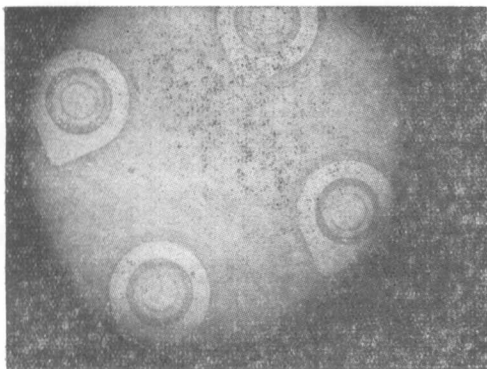


图6 直径为0.025吋的PNP硅平面晶体管矩阵的一部分,圆形发射极和梨-滴状基极接触区域的氧化物在金属化之前已被除去

量各个晶体管的直流电学特性。

切成小块和引线连接

下一步,是将片子切成包含一个或多个晶体管的小块。为此可使用钼-锡丝锯。但这个工序通常都是在割裂装架上进行。它是用金钢钻在片子上以互成直角的两个方向划线。这样,片子很容易地就裂断成单个小块。然后使用改装的 Kulicke 和 Soffa 热压接线机,将小块金焊 (gold-bonded) 到 Jedec 型 TO-5 晶体管管座上,集电极接触就做在管座体上。随后,把发射极和基极接触区用直径为0.002吋的金

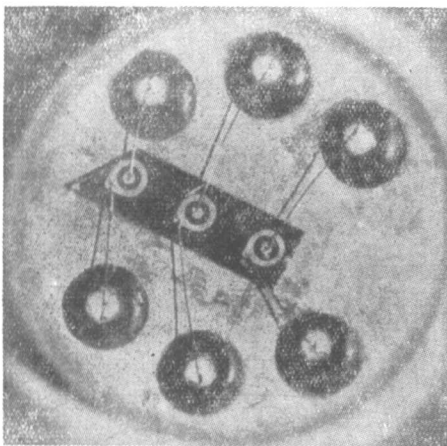


图7 三个集成 PNP 硅平面晶体管(每一个的直径为0.025吋)装在一个有6个管脚的 TO-5 晶体管管座上。硅小块用热压法连接在该管座体上,而形成公共集电极。同时用直径为0.002吋的金引线,把发射极和基极的金接触区域和管座的管脚进行热压连接

引线跟管脚连接起来。包括有三个集成晶体管的装配好了的小块照片在图7中示出。图7即为含有三个集成晶体管的小块的装配图。

讨 论

在氧化物生长期间,由于氧化物接受 P-型杂质,排斥 N-型杂质,在 P-型硅的表面上会形成反转层。这就导致在氧化物下的硅表面形成一不期望的 N-型硅薄层。在金蒸发之前,将片子放在 800°C 的真空中,烘焙两小时,可以消除这种反转层。

装配和测试后的晶体管,由于基极宽度不同而给出较大的增益变化。直流条件下可获得直至 300 的电流增益(β),室温下的 I_{C0} 小于 10^{-7} 安培。共基极截止频率的典型值为 70 兆赫。

这种晶体管的集电极特性波形图示于图8。图中非常尖锐的反向电压标志了良好的平面型基极-集电极结。

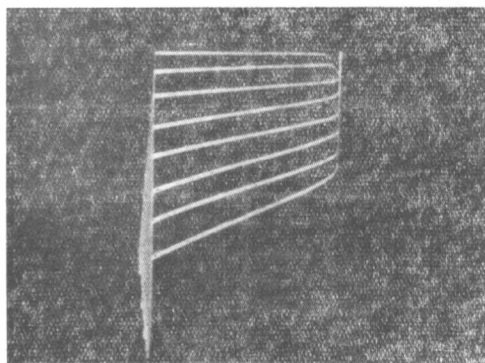


图8 PNP 硅平面晶体管集电极特性的波形图。垂直标尺=1毫安/每段,水平标尺=5伏特/每段,基极电流=10微安/级,在5毫安时电流增益(β)=100,集电极击穿电压=33伏特

参 考 文 献

- [1] A. P. La Rocque, R. S. Yatsko, A. Rogel, R. Jackson and V. Rible. "Processes for Fabricating a planar PNP Silicon Transistor", I. R. E. Transactions on Component Parts. Vol. CP-9, No. 3, Sept. 1962.

(彭兴文译自《British Communications & Electronics》1964, No. 4, 第248~251页 张文清校)