

半导体器件的可靠性

第三集

科学技术文献出版社重庆分社

前 言

本文集主要从AD和NASA中收译了8篇文章，内容大致分为三个方面：①从工艺上对半导体器件，特别是对集成电路的可靠性问题进行了分析，着重叙述了生产工艺过程对金属化可靠性和水在氧化膜中的沾污的影响，尤其是金属化对于长期可靠性的影响；②关于塑料封装集成电路的可靠性问题；③对可靠性物理进行了研究，扼要地介绍了一种非破坏的红外检测手段和目前国外普遍使用的七种检漏方法。

本文集对从事半导体器件和集成电路制造的工人、技术人员、科研和教学人员均有参考价值。

本文集承“西北地区半导体组”和“1424所”协助译校，特此致谢！由于我们专业和外文水平所限，一定存在不少问题，请同志们批评和指正。

编 者

目 录

空间军用的可靠半导体器件的制造.....	(1)
金属化的失效.....	(22)
水在氧化膜中的沾污.....	(76)
微波固体器件的可靠性物理研究.....	(102)
半导体器件鉴定与失效分析中采用红外评估技术的研究.....	(123)
塑料封装集成电路可靠性鉴定.....	(129)
塑料密封集成电路的可靠性.....	(152)
微型电子器件的密封性实验.....	(166)

(宇航空间标准AS1142)

空间军用的可靠半导体器件的制造

I、前言

长期在空中使用的半导体器件，例如在通信卫星中使用的半导体器件，必须具备最大的可靠性，因为在空间中使用，不可能进行修复并且不能做得太累赘。况且，元件的可靠性在军事应用的整体灌封式电子电路中对防止元件突然失效起着极为重要的作用。

可用下列方法确保器件的可靠性⁽¹⁾

工艺质量控制

生产线鉴定

监控装配线

封前进行目检

经高温功率老化—温度循环等的筛选

环境和寿命试验

可靠性物理研究

空间通信系统还受到另外的限制，因为这种系统非常复杂并且要用大量不同型号的元件，而一种类型的元件用数却相当少。这就使得在没有特殊监控线或生产线的鉴定方法的地方来建立它们，在经济上是不可行的。

本文研究的目的是企图通过增添一些附加的工艺质量控制和筛选的方法并对之进行监控来确定从标准化生产线取得高可靠性器件的可能性。其中很多是基于现有的军事或宇航局(NASA)的质量规范。曾对许多半导体制造厂进行过考查，检查他们现有的质量控制和由于附加工艺控制及筛选所引起的问题。还访问了大量军事或空间电子系统制造机构研究他们的可靠性获得方法。

I、失效形式

表1列出了主要的失效形式，制造工艺影响失效的因素以及适用的筛选方法。为了对平均失效时间和加速应力的适用范围有一个比较深刻的理解，首先必须对失效机构有一个基本的了解。

从表1可以看出很多失效形式遵循Arrhenius型关系式：

$$R(T) = A e^{\times p(-E/KT)}$$

此式表达出作为工作温度T函数的某器件参数的时间退化率R(T)^(2,3)。E是器件电参数恶化过程的激活能。只要E足够大并且只要没有由此而引入新的失效形式，则高温应力是筛去Arrhenius型失效的有效方法。参考资料(4)已表明结失效的激活能是1.1电子伏。实际当中这意味着低于金—硅低共熔点370°C的某个温度。用此种方法不能消除还取决于无热应力的失效。

可以利用各种失效形式发生的频度表明它们的重要性，这种频度已由最近发表的几篇文章^(1,5-9)中推导出来。本报告主要涉及标准双极性集成电路工艺，不讨论MOS工艺或多层金属化系统中所出现的特殊问题。

II、金属化缺陷

金属化和焊接(键合)缺陷代表集成电路中最重要的可靠性问题。金属化缺陷可分为下列几种：

微裂缝——焊接窗口周围裂缝或金属化层过薄。

过度合金化——粘着不牢，剥落，以及出现空隙。

光刻缺陷——针孔和对不准，接触切割区不适当。

一般操作问题——划痕、沾污、裂缝和

•译自AD741822

表 1 失效形式

生产工序	失效形式	失效机构	时间依 赖关系 参考文 献 2	加速应力		发生频度 (%)					探测和筛 选
				热的	不热的	参 考 文 献					
				参考文献 2		(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
扩散和氧化	扩散管道 位错和堆垛 层错 表面效应	沾污,反型; 扩散	是	Arrhe- nius		12	25	12	29	44	目视 功率老化
	光刻缺陷	针孔; 扩散	是	是	电压	2	7	6	9	2.4	高温反偏 老化
						10	18	3	14	2.4	老化
						39	26	11	12	22	目视 扫描电子 显微镜, 功率循环 热循环
金属化	氧化硅上残 留的金属化 层,微裂缝	电流密度 熔融	不知道	不直接	电流密度	5					
	空隙	附着	没有		热机构					2.4	目视
	锈蚀	化学反应扩 散	是	是				2		19.5	稳定化烘 焙
焊接 片子焊接	钎—金属化 缺陷	金属化粒 子,腐蚀残 渣的沾染									扫描电子 显微镜
	片子附着中 的裂缝,空 隙	张力弛豫	不知道	不	机械的	38	33	52	22	17	离心 目视,推 进试验, 电流脉冲
	金属熔渣							6	8		目视,振 动冲击或 声试验
引线焊接	金属间构造	Kirkend- all效应 化学反应和 扩散	是	Arrhe- nius				46	14	2.4	焊接强 度试验
	与基片短路 引线短路或 开路	机械畸变 机械畸变或 压力	不是 不是	不是 不是	频度机构					14.6	目视, 离心
操作	金属划痕	电流密度, 熔融	不是		电流密度			3			目视
划片和分割	裂缝	机械断裂	不是	不是	机械的			2	7	12.2	热冲击, 温度循环 振动冲击 或声试验
	外来材料					2		6		4.9	
密封	气密性	污物(沾 污); 扩散	是	Arrhe- nius		8	10	11	11	3	漏气试 验,热冲 击
	封装					9		5		2.4	
						2		6			目视

锈蚀。

金属化缺陷将使器件产生开路、高阻区和短路，以及由电迁移引起的长期效应。后一种是在电流密度超过 10^5 A/cm^2 情况下（特别在硅接触区铝层中）发生的一种潜在的老损机构⁽¹⁰⁾。在优质器件中仅在设计错误或使用不当时才出现这样的电流水平，但它们也能由上述任一金属化缺陷而引起。电迁移遵循其激活能取决于薄膜结构的Arrhenius关系式。

微裂缝

在文献⁽¹¹⁾中首次对微裂缝作了详细的描述，其中认为微裂缝产生的原因是光刻问题，同时还证明用扫描电子显微镜来检测具有很好的效果。Blech⁽¹²⁾最近对这种现象的一篇评论认为，微裂缝是在金属淀积过程中形成的，但微裂缝的形成既取决于氧化台阶的断面分布，也取决于蒸发的几何图形⁽¹²⁾。最严重的裂缝是出现在磷硅玻璃层上，腐蚀使磷硅玻璃台阶部分上的金属化层发生突起（见图1）。磷硅玻璃腐蚀比二氧化硅热生长快得多。用减少或减薄磷硅玻璃部分的方法或者用在金属淀积过程中加热衬底的方法可以消除裂缝，但加热衬底不能消除台阶上陡峭之处的变薄异常现象。

用下列办法可以避免微裂缝的形成⁽¹³⁾。窗棱应该具有光滑的轮廓线，这可通过部分地去掉磷硅玻璃和用仔细控制温度、浓度和腐蚀过程的办法达到。应该在 $250\text{--}275^\circ\text{C}$ 的热衬底上进行汽相淀积，以产生趋于更稳定的大晶粒。为了获得更大的均匀性，可以应用一种旋转系统。铝层厚度至少应有1微米，金属应该慢慢淀积，金属腐蚀是一个应该加以严格控制的过程，整个过程应避免杂质。

过度合金化

在较高温度下铝与硅和二氧化硅都能起反应⁽¹⁴⁾，这可以引起下述类型的缺陷⁽²⁾：

a. 接触边缘铝中硅的固态溶解使氧化层上的铝和接触区边缘处的铝之间断开，这就导致截面区收缩（见图1）。Ahstead和Floyd⁽¹⁵⁾描述过此种现象。

b. 沿晶粒间界的硅扩散引起脆变和剥落⁽¹⁶⁾。

c. 由于氧化层下面铝和硅的过度合金而引起的铝渗透产生短路，尤其在浅扩散区中更是如此⁽¹⁾。

d. 偏置情况下在热二氧化硅和玻璃钝化层界面产生铝迁移。Bart⁽¹⁷⁾观察了在250毫瓦、 150°C 、96小时条件下，合金层的这种效应。当加热温度接近铝—硅低共熔点时，即使不加偏置铝就扩散。用硅接触区中金属特性斑点很容易检查过热。

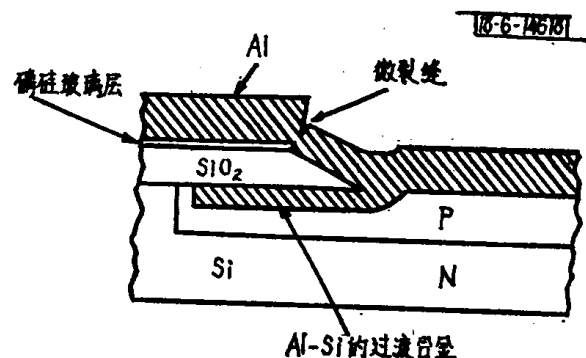


图1 氧化层下Al—Si的过度合金和接触切面处的微裂缝

钼—金金属化系统的缺陷

金的金属化与铝的相比，具有一定的优点，因为避免了焊接过程中金—铝化合物的形成，并且电迁移效应也至少小一个数量级。另一方面金金属化要求多层系统，因为金要向硅里扩散，并且与二氧化硅不粘合。

有段时间钼曾被用做中间层。钼本身与硅形成三种金属间化合物并易于氧化。氧化导致接点多变不可靠⁽¹⁸⁾。由于这一原因，提出了图2所示的多层系统⁽¹⁹⁾。钼淀积前加一层非常薄的铝以改进欧姆接触。在溅射的钼层上涂复含有10%铂的薄金层。铂易溶于钼和金中，这就避免了顶部金属的脱离。

*原文为embittlement，疑是embrittlement之误，故译或“脆变”

金—钼系统中最重要缺陷是腐蚀过程中钼阻挡层的钻蚀，它能产生下列效应：

a. 未维持住的金剥落，从而引起导电通路变窄或者开路。

b. 金斑点产生沾污问题，这会引引起短路。

c. 沉积在金表面下的剩余磷酸腐蚀剂引起电蚀和含有氧和硅的钼盐的枝状生长⁽²⁰⁾。

d. 由于在下一步加工过程中局部形成金—硅低共熔体(熔点为370°C)而引起金向硅中的扩散(发生在钼层不连续处)。

e. 硅向金膜里渗透，这就由于晶粒边界处硅的析出而产生金剥落⁽¹⁶⁾。

如果不附加另外的钝化层，金金属化层就不能钝化，因为玻璃不会与金粘合。钼—金系统在湿气中将发生腐蚀。已观察到在钼—金金属化系统的接触窗处具有微裂缝⁽²⁾。高温储存过程中钼—金系统中出现结构变化，结果会引起附着不牢和金剥落^(17, 21, 22)。在电气应力作用下可以发生同样的情况。

最近研制出了一种更稳定的系统，在此

18-6-14619

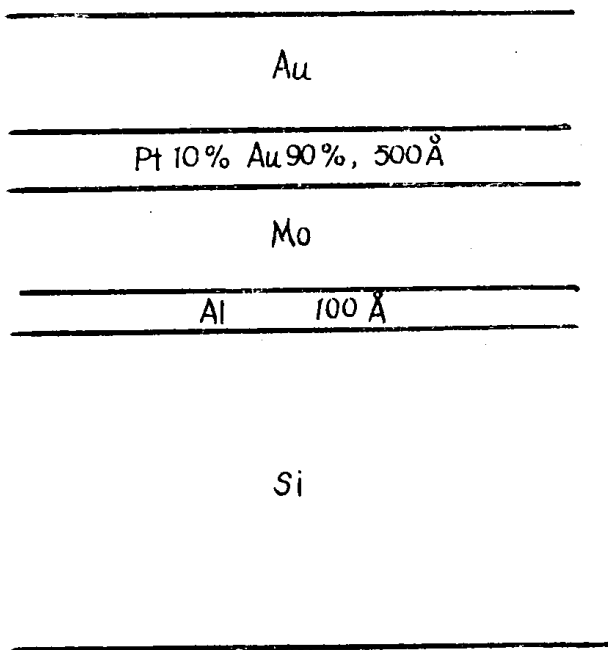


图2 Mo—Au金属化系统

系统中以钛代替钼。

金属化缺陷的检查

除微裂缝外所有金属化缺陷都能在显微镜下清楚地观察到，因此在管芯和封帽前目视检查过程中，这些缺陷是能够检查出来的，为进一步分析缺陷要用金相显微镜。电压反差扫描电子显微镜是检查微裂缝的最好手段。

第Ⅷ部分中描述了经由扫描电子显微镜检查的生产线输出分路中的某些逻辑问题。多数制造厂加到铝金属化上的玻璃钝化层产生了另外的问题。在加此层前必须抽出要用扫描电子显微镜检查的样品，因为对从腐蚀的玻璃钝化层样品所得结果不易估价。这就要求将不作进一步加工的分立的片子或片子部分用于扫描电子显微镜检查。因此说单个芯片不能用于扫描电子显微镜检查。

对钼—金系统钻蚀的精确研究要求把金膜去掉，这就使程序复杂了，但在这种情况下，可以选择单个芯片。

尽管现在还没有系统化的相应的军事规范，但已有了关于扫描电子显微镜检查的详细宇航局(NASA)规范⁽²⁸⁾。取舍标准必须以图解形式表示，那就使界限情况的说明复杂了。此法进一步试验会导致发展更定量的规范。Jet propulsion实验室已经发展了钼—金金属化系统扫描电子显微镜检查的详细规范⁽²⁴⁾，它包括剥落金属以便能检查下面钼层的准备。

曾经企图用—26和74°C之间的热循环方法筛选出含有微裂缝的器件。应在加温度应力过程中加功率，于冷温下终止。试验后进行直流和交流电参数测试。这样筛选的效果取决于铝的加工硬化，也已经提出以类似原理为基础的高温功率老化筛选。

IV、芯片安装

用金—硅合金在370°C下的压片方法来完成芯片装配操作，注意有下列问题⁽¹⁸⁾。

片子下面空隙

附着不牢

合金熔渣形成

裂片

较小片通常在片子制做过程中在下侧蒸金，并且不要求单独压片。

不规则的焊接和不均匀的润湿产生空隙，它可用对焊料轮廓目视检查，X射线扫描，红外线扫描以及热阻测量方法进行检测。

一种有效方法是给器件短时间地通大电流接着进行温度测量。但用大电流密度筛选有危险。

检查附着不牢的最好方法是在取样基础上对要检查的芯片进行推压试验，并以此作为一项工艺过程控制。这种方法可以在装配线上发挥纠正作用。用离心试验后测试电气性能的方法可以筛选芯片附着不好的器件。

擦洗过程中形成的遗留熔渣可能会引起尘粒沾污（见第Ⅵ部分）或与有源电路直接短路。内部目查（封帽前）应该能筛选出具有合金熔渣问题或裂片的器件。

不可用玻璃进行芯片安装。

V、引线焊接

引线焊接操作代表集成电路和其它半导体器件中的一个最大可靠性问题。最普通的两种焊接技术是用金丝热压焊接，以及用铝丝的超声焊接。热压焊接可为球焊和楔焊成针脚式焊接，并且主要用于铝或金衬底焊接。超声焊接一般是用于铝衬底。用同样技术进行封装焊接，其中衬底常做成镀金的柱或片状。只有用低熔点玻璃做密封剂的陶瓷封装里用铝片。其他技术，例如，梁式引线还没有用于大规模生产，因此，这里将不考虑它。Lesk和Black⁽²⁶⁾及Sohnakbe和Keen^(16, 1)已给出引线焊接中失效形式的最新看法。

金铝热压焊接（键合）

热压扩散焊接原先是贝尔实验室于1957年发展起来的⁽²⁶⁾。这种焊接要求严格控制

温度，时间和压力，以避免损伤器件、焊接强度太小或形成脆的金属间化合物⁽²⁷⁾。

很早就知道金—铝焊接在高温存储过程中要退化，并同时形成一种暗或紫相（称为“紫斑”）。随后证明，Kirkendall扩散使键合本身退化，也就是金扩散比铝扩散快，于是形成空隙^(14, 18, 28-31)，事实上有两种失效形式，是属于Kirkendall空隙^(30, 31)：

a. 界面空隙，导致键合破裂⁽²⁸⁾，此机构具有0.2电子伏的激活能，并仅发生在铝膜厚至少有5000 Å的时候。

b. 周边或环状空隙⁽²⁹⁾，引起电阻增加。在高温和薄铝膜中此机构占优势。

Rossiter⁽³¹⁾发现界面空隙趋于在气密封封装中产生，而环状空隙产生于空气中。氧和水汽能限制铝的表面扩散，从而会对危害较大的界面空隙具有一种制止作用。硅的存在可以促进这种作用⁽¹⁸⁾。

从保证系统绝对可靠（例如在空间可靠地工作达十年）的角度来看，确定键合退化的时间—温度关系是非常重要的。表2示出不同作者所给出的粗略估计。如果键合退化过程具有一个确定的活化能，那末最好是给所有器件加极端温度应力，使得这样的过程可以进行到最后，然后用适当的工艺筛选方法，消除受损器件。贝尔实验室曾采用此方法，并利用恒定加速筛选^(4, 33)。假设所有有缺陷器件都能筛选出来并且高温应力不会引入另外的失效形式。

Philofsky⁽³⁴⁾关于“紫斑”的一篇新近评论提出，金属间化合物形成的动力学，可用如下比率常数来表示：

$$K = 5.2 \times 10^{-4} \exp(-15,900/RT) \text{ cm}^2/\text{秒}$$

此比率常数相应于0.7电子伏激活能。只要金属间化合物不包含接近连续的Kirkendall空隙线，焊接强度就与金属间化合物的形成无关。并且间断的老化比高温下连续的老化更易产生金属化合物。Workman⁽³⁾提出，Kirkendall空隙形成的激活能约为1电子伏。Zierdz⁽⁴⁾研究了

表 2 高温存储引起金—铝系统键合失效的估计

参 考 资 料	温 度	时 间	效 应	
Selikson 和 Long	28	300℃	18小时	焊接强度损失, 焊接失效
Cunningham	32	300℃	48~216小时	焊接失效
Blech 和 Sello	29	300℃	100小时	厚铝膜中没有焊接失效
Peck, 33 Zierdt	4	300℃	16小时	离心试验后焊接失效
Schnable 和 Keen	16	<150℃	扩展了的周期	可靠的
Cunningham 和 Harper	14	85℃	20 年	到失效的时间
Anderson 和 Cox	30	125℃	1 年	到失效的时间
Philofsky	34	<300℃	间 断	引起焊接失效
		300℃	100小时	没有失效

温度应力下铝—金焊接失效, 其激活能数值与上述类似。

铝—铝超声焊接 (键合)

铝—铝超声焊接的焊接强度受到表面条件、超声功率、与工具有关的部件和卡盘的硬度、系统谐振和温度变化等各种变量的影响⁽³⁵⁻³⁸⁾。超声功率的设定很重要, 因为太低的值会引起焊接点脱离, 而太高值会引起焊丝断裂, 为此应该借助合适的换能器经常地监控超声功率⁽³⁹⁾。很多焊接器未采取防震保护, 产生由弱焊接和夹断引线而引起的随机失效。

多数半导体器件采用含 1% 硅的铝引线, 它以硅晶粒的形式在晶粒边界分凝。温度或功率循环可以引起加工硬化。以镁代替硅, 会使机械性能良好, 但可以引起电气特性退化⁽³⁵⁻³⁸⁾。

在制造过程中晶粒在高温下生长会形成单晶铝, 因此在负荷非常小的情况下就会断裂。退火可以降低引线的抗张强度⁽³⁵⁾。铝—铝焊接失效通常发生于键根部, 此处焊接工具已使引线变形, 而与铝膜未必键合了起来。因此, 变形的目视检查很重要。低重复率的功率循环引起的金属疲劳能使这点引线断开⁽²⁵⁻⁴⁰⁾。

通常用超声焊接把铝线焊到管壳的片或柱上。镀以 50—100 微英吋的薄软金镀层会得到很好的结果。铝镀层仅能用于密封操作

过程中不加高温的管壳上。甚至那时沾污也可能引起焊接退化⁽⁴¹⁾。如果焊接过程温度太高, 可能产生铝丝到镀金柱的焊接失效⁽¹⁾, 但这不适用于超声焊接。

焊接工艺控制

要得到焊接强度的可靠筛选方法是困难的。已经提出非破坏性抗张试验⁽⁴²⁾, 但有引入潜在损伤的危险, 这就限制了它在生产线上的应用。在一条生产线上用氮气加 0.5 克的压力, 同时通过显微镜观察器件, 把抗张强度为零的器件从生产线上挑出去。在另一条线上加 1.5 克的力。两条生产线都用铝—铝超声焊接。加热应力后进行高达 30000G 的恒定加速试验, 似乎对金引线达到了一定程度的成功^(4, 16, 33)。

键合形成的目检标准示于第Ⅷ部分表 5 中。显微镜检查会粗略地消除有缺陷的焊接, 但焊接强度和外观没有什么关系。在球焊中直径是最重要的测量项目, 它应该是引线直径的 2—4 倍。在其它焊接方法中, 压缩凹痕应在 20%—75% 之间, 导至其宽度等于引线直径的 1.2—2 倍。脱裂或部分分离的迹象都应该舍弃, 也是焊接片上横向接合拉力的原因。

焊接操作的主要控制是破坏性焊接强度试验, 其结果对次品的反修和消除提供了必要的依据。表 3 示出一篇工业上的考查, 它表明了执行这种过程控制操作在方式上的格

外差异。

拉力试验的方法是：把一个半圆形金属吊钩放在芯片焊点和管壳焊柱间引线的中间，再用不超过每秒2克的恒速率垂直地拉。吊钩与引线的角度应该是严格一定的并且不得变化。图3所示的一般方法在MIL-STD883,方法5005和2011中有描述。MHB 5300.4[3D],方法6090A和B中给出了设备的一般介绍。

破裂一般发生在下列位置上(如图4所示)：

- a. 在芯片焊接处。在内引线(焊点)和金属化层之间,金属化层和氧化层或氧化层和硅之间粘结失效。
- b. 芯片上焊接根部的颈下区。
- c. 引线中。
- d. 焊柱接点根部的颈下区。
- e. 脚柱的焊接点上。在焊接点和电镀层上或在电镀层和衬底之间出现粘附失效。

焊接很牢的情况下,总应该是引线首先断,很多情况是脚柱焊点的焊接最弱。到脚柱的两个针脚式焊点中一个将首先损坏。

应当频繁间隔地进行破坏性焊接试验,例如每一个操作者-机器组合每两小时进行一次。在机器安装操作完毕后应该立即进行第一次试验,而且只要一部机器停了下来进行维修和重调时,在其恢复正常工作以前也应进行一次试验。

约10个焊接样品构成一个适当的样品组。拉力试验所得数据应以图表形式列出,给出平均焊接强度 \bar{X} ,范围R和失效形式。当平均参数超过下列控制下限时,就认为是失控条件:

- a. 低于2克抗拉强度就分开了的键合。
- b. 低于2克抗拉强度就断开了的金引线。
- c. 低于1克抗拉强度就断开了的铝引线。

如果任意样品有一个或多个不合格的地方,那么就不应允许取得此样品的机器继续

工作,直到得到合格样品而能实行工艺控制为止。还应该去掉发现不合格以后所有这部机器上制造的器件。尽管一些制造厂家会把这样器件转向民用,但工业考查表明,这最后一条规则是经常被违反的。

对钼-金金属化所做的焊接还要求有剪切焊接强度试验^(21 22)。这种试验应当作为密封前加热样品后的一项质量控制来进行。这种试验提供了针对焊点下面金属剥落的适当筛选,这种缺陷是由于钼的过度减少引起金层钻蚀和钼金之间附着不牢而造成的。

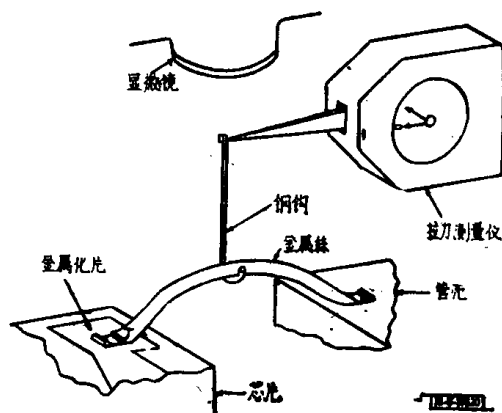


图3 焊接拉力强度试验

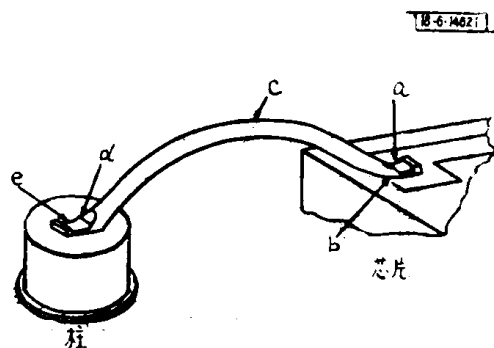


图4 焊接拉力强度试验中的失效形式

其他工艺控制

焊接台要求有一个仔细计划的维护表以及检查所有的温度和压力。包括管帽或管壳,引线和电镀表面的所有小部分都必须在验收检查中经过严格检查。在焊接前,芯片表面必须经过彻底清洗。玻璃钝化过程已给焊片带来了新的表面问题,因为不经过长时间腐蚀要去掉铝是很困难的,并且它与铝还能形成反应产物。

表 3 焊接试验

制造厂家	焊接类型		焊接强度试验				重焊	备注			
	焊接		样品组	筛除标准 断裂形式 (图4)	文件	纠正措施			退火 后拉 力试 验		
	引	管座								试验 频度	其他形 式强度
1	铝-金	球焊	1/班	允许任一形式	月资料 X=5克 X-R图	关机 未成批舍弃	没有	针焊最弱			
2	铝-金	球焊	1/时	允许任一形式	X-R图	成批舍弃	是				
3	铝	U/S	1/2时	a和e	X-R图	成批舍弃 只关机	是				
4	铝	U/S	2/班	允许任一形式			没有				
5	铝	U/S	没有规律的试验,但能制定								
6	铝	球焊	1/2时	a和e	X-R图 X=2.8克 R=2.6克	关机	是	焊接机 痕迹能力			
7	铝	U/S	2/班	a和e < 4克	X=硅片上6克 管座上4克		是	仅在管座上			
8	铝	U/S	没有宣布检查				是				
9	铝	U/S	4/天				是				
10	铝	U/S	1/时		X=4.8克	关机					
11	铝	U/S	1/4时								
12	铝	U/S	1/天	允许任一形式	是	关机	是	焊接机 痕迹能力			
13	铝	U/S	2/班	a和e < 3克		关机 调整机器 < 3克成批舍弃 < 2克成批舍弃	是	取决于顾主要求 允许不是同一地 方			
14	钛-金	楔焊	微器件	没试验	典型的1-1.2克			没有压力 调节的焊 接机			
15	金	球 > 楔		没试验							
16	铝	楔焊		没试验				在管座上			

应该这样来组织工艺线，使任何器件都可追溯到它的特定的焊接机和操作者。在少数的组装线上这样做。焊接强度试验结果也应与每一焊接机和操作者关联起来。这样的程序不仅能保证器件可靠性，而且也会提高焊接操作效率。

退火后焊接强度试验

高温储存过程中金和铝引线都要退火。起初热压金焊接比超声铝焊接要强些，但经过300℃储存后，铝焊接强度有点胜过金焊接⁽¹⁶⁾。而且在高温下进行封装会引起显著退化，因此，需要在高温功率老化后进行附加的质量控制检查。

焊接强度接收试验形成了在MIL—STD883的5005方法中规定的质量鉴定和质量符合过程的一部分。密封器件必须打开以进行这种试验。最好能追踪到焊接机和金属化层。任何失效就应将抽样的这批产品舍弃。

重 焊

如果第一次焊接不成功，但金属化层未被破坏，则MIL—STD883规范允许微电路中有10%的重焊。但过焊是不允许的。重焊代表了潜在的可靠性危险，主要有两个方面：

a. 第一次未焊成功表示出一种可以不必作进一步研究和纠正的失控情况。

b. 第一次焊接使金属化层遭到在低功率放大情况下不明显的退化。

与制造厂家讨论，他们同意在硅层上不准重焊的规定，因为在硅片上不重焊所带来的产额下降并不严重，但讨论表明，焊片或管座焊柱上不重焊就会严重影响产额了。这样的规定意味着没有封装的一致性和质量控制，这本身就是一种可靠性危险。一定不要在进行过第一次焊接的区域重焊。

VI、导电粒子

小导电粒子的存在构成了失重空间环境中重要可靠性危险。这种粒子可以被静电荷

或介质材料中电荷吸引，从而可由于桥接金属化通路而引起短路。这种粒子是由金属化层剥落（尤其是铝-金系统中），由芯片焊接操作的熔渣，引线焊接操作的线头，以及密封工艺而产生的。

约50微米厚的玻璃钝化层能高可靠地保护铝金属化系统中由小导电粒子产生的短路。用同样的方法不能钝化金-铝系统，因为玻璃与金不粘合，因此在这种情况下，检查粒子沾污是特别重要的事。

X射线照相试验不能剔出小于10密耳的粒子。为检查这样小的粒子就得发展特殊鉴控的振动冲击或声学试验。关于这些问题在第X部分中有描述。

VI、封 装

高可靠空间应用的晶体管 and 集成电路封装于可伐帽和管壳或扁平管壳里。

表4列出不同型的扁平封装结构⁽⁹⁾。所有结构中，引线架都是用可伐或类似合金做成。用硼硅玻璃把它们密封在管壳里。目视预封检查以后的第二次密封，根据封装结构其方法相当不同。

所有封装形式都有因管壳密封性差或引线周围玻璃弯月形裂缝引起的漏电问题。来自不同管壳供应者玻璃质量很不同。所有器件都必须进行粗的和精细漏气的密封试验筛选。

必须注意不要因给引线加过大应力使筛选出的器件发生漏气。引线弯曲引起漏气率高达3%⁽⁸⁾，Jet Propulsion实验室为克服这个问题设置了二次密封检查，在引线弯曲后进行电气试验。

陶瓷封装

低熔点玻璃密封的扁平封装有另外的可靠性问题。玻璃包含氧化铅和碱盐，它们在密封操作过程中有可能分布于整个管壳。这种导电污物在管壳和整个芯片表面上都可以产生漏电通路。

应用过量玻璃会引起引线与芯片和管壳

或引线相互之间的短路。发现很多管壳密封后几乎充满了玻璃。为此,玻璃坯料应该限制在管壳周围,并且应最大限度地减少玻璃用

量。玻璃不应涂在边缘周围,并且在验收检查应对玻璃厚度进行严格质量控制。

表 4 扁平封装结构⁽⁹⁾

型号	结 构	底 座	密封凸缘	盖	密 封
I	可 伐	可 伐	可 伐 体	可 伐	针 脚 焊
II	硼硅玻璃	玻 璃	玻 璃	涂复金属的玻璃	低温玻璃
III	可伐-玻璃	(a) 玻璃 (b) 可伐	可 伐 可 伐	可 伐 可 伐	铜 铜
IV	玻璃-陶瓷	(a) 陶瓷 (b) 陶瓷	金属陶瓷	可 伐 可 伐	铜 铜
V	陶 瓷	陶 瓷	什么也没有	陶 瓷	低温玻璃

管壳尺寸	结构形式	引线型号	外 型
1/4" × 1/8"	I, III	6 10 14	TO-89 TO-84
1/4" × 1/4"	II, III, IV	6 10 14	TO-86
1/4" × 3/8"	II, III, IV, V	14 16 24	TO-87

所有陶瓷封装机械结构都弱。加热应力过程帽可能会分离,所以紧接离心试验需进行热冲击试验。密封中的空隙引起密封性问题。较大的陶瓷管壳支撑不住氟-碳粗漏气密封试验过程所加的90磅/每平方吋的压力,这是必须加以改进的(见第X部分)。它们也都不太经得起真空暴露。

质 量 保 证

在制造过程中封装应该按下述顺序分三个阶段进行30~50倍放大的目视检查:验收检查阶段、封帽前目视检查阶段和筛选后外部目视检查阶段。检查标准应包括下述几条:

尺寸:超出公差条件,各封装单元没有对准、弯曲、密封环框内部引线焊片不符合要求。

空隙、气泡、钻蚀:

管壳损伤:裂缝、沿引线的微裂缝、碎片、表面不平整、刻痕。

电镀缺陷:剥落、起皮、沾污。

外来材料:未附着和附着的。

封帽前目视检查集中在关于污物、损伤和其他不规则性等的密封区检查。

密封的质量和在对准是在外部目视检查过程进行检查的。验收检查过程中的废品率可以高达30%。

VI、工艺质量控制

每一制造厂家都对他的产额最大化感兴趣。因而每一条生产线都建有工艺质量控制,为此,一些制造厂家发展了精细的质量保证计划。军用和宇航局(NASA)的生产线鉴定程序已用到很多半导体产品,并且现

在正被引入一些集成电线生产线。但如最近 NASA 和 Gidep Alerts 考查⁽⁴⁵⁾所指出的，还有很多的可靠性问题，因此用户希望确实保证适当的工艺控制付诸实施，因为不可能把所有可靠性问题都检查出来。

片子制做阶段工艺控制初步确定成品率，因为在那个阶段末所有器件都要经过电气多探针检查。组装阶段目视检查一般能消除经过电气试验了的芯片的任何可靠性问题。因为组装中引入了许多附加可靠性问题，所以这阶段质量控制最重要。工艺流程表示于图 5。

由于某些质量控制操作具有潜在破坏性，所以必须以取样检查形式进行，即扫描电子显微镜分析，片子装配控制和焊接强度试验。为此生产线流通和片子追踪能力就变得重要了。理想地，应从每一片抽取若干器件进行检验，但由于经济原因以及扩散分批或金属化分批把芯片折散开而很少这样做。有些公司组装器件是在一批金属化中包含有几道不同的扩散来进行的。

下述例子示出这样的程序不妥当：用扫描电子显微镜对片子进行检查的主要目的之一是检测微裂缝，而这些裂缝不但与金属化有关，也与磷扩散和后面的腐蚀工序有关。腐蚀通常是用人工操作方法根据浸渍时间和抗蚀剂的化学性质来进行，金属化工艺本身常常取决于片子的位置。类似地，焊接操作取决于金属化的质量和沾污状况。

一些组装操作需要用预制品，引线、管壳和管帽在它们的领取制备和使用当中必须经严格的工艺筛选和质量控制。缺陷很多的封装型尤其要这样。

一些雇客喜欢自己单独地进行一定的质量控制检查，特别是扫描电子显微镜对片子检查和封帽前目视检查。这样程序的理由很充足，因为舍弃标准是非常复杂的，并且在扫描电子显微镜检查情况下未必规定任何精度。应该与生产者密切配合进行检查，这样才能采取合理的改正方法。

雇客也可以通过买片在片子追踪方面进行一定的控制，即进行扫描电子显微镜和目视检查，然后再把片子提供给生产者进行芯片组装。这样做的主要缺点是除了时间延长外，过多的处理会引起表面损坏。另一方面，此法似乎很经济，因为没有缺陷的片子才能得到高价组装阶段的进一步加工。一些生产者把货存保持在使这样的程序容易进行的片子水平上。

Ⅱ、内部目视检查

对有缺陷器件的最广泛的筛选是通过详细的显微镜检查方法进行的，按 MIL—STD 883 规范分三步进行：

a. 用 100 倍放大对金属化、氧化和扩散、划片和芯片缺陷进行检查，片子分类后马上进行。

b. 用 40 倍放大对芯片固定、焊接、内部引线和封装缺陷进行检查，焊接后马上进行。

c. 密封前马上照 (a) 步再次检查。

分类后进行的 100 倍检查是要去掉在进一步加工以前的有缺陷的器件，最后一次放大 100 倍的检查是要在密封前最后保证没有刻痕、外来物质和其他缺陷。工业考查表明，很多制造厂家不进行作为 100% 筛选的第二次检查，而仅通过质量控制以取样为基础地进行筛选。

内部目视检查要求进行高质量的立体显微镜检查，它要求具有垂直照度，(b) 步检查 40 倍放大的良好视场，以及在显微镜聚焦面上芯片表面的稳定位置。金相显微镜适用于对某些缺陷的进一步分析，尤其是对能揭示某些加工步骤中的缺点的那些缺陷的分析更为合适。一些制造厂家为内部目视检查所提供的设备非常有限，这样就加重了操作者的负担。

表 5 列出内部目视检查过程要注意的缺陷。MIL—STD 883 是为按照要求最大可靠性应用的试验条件 A 进行检查和按许可应用

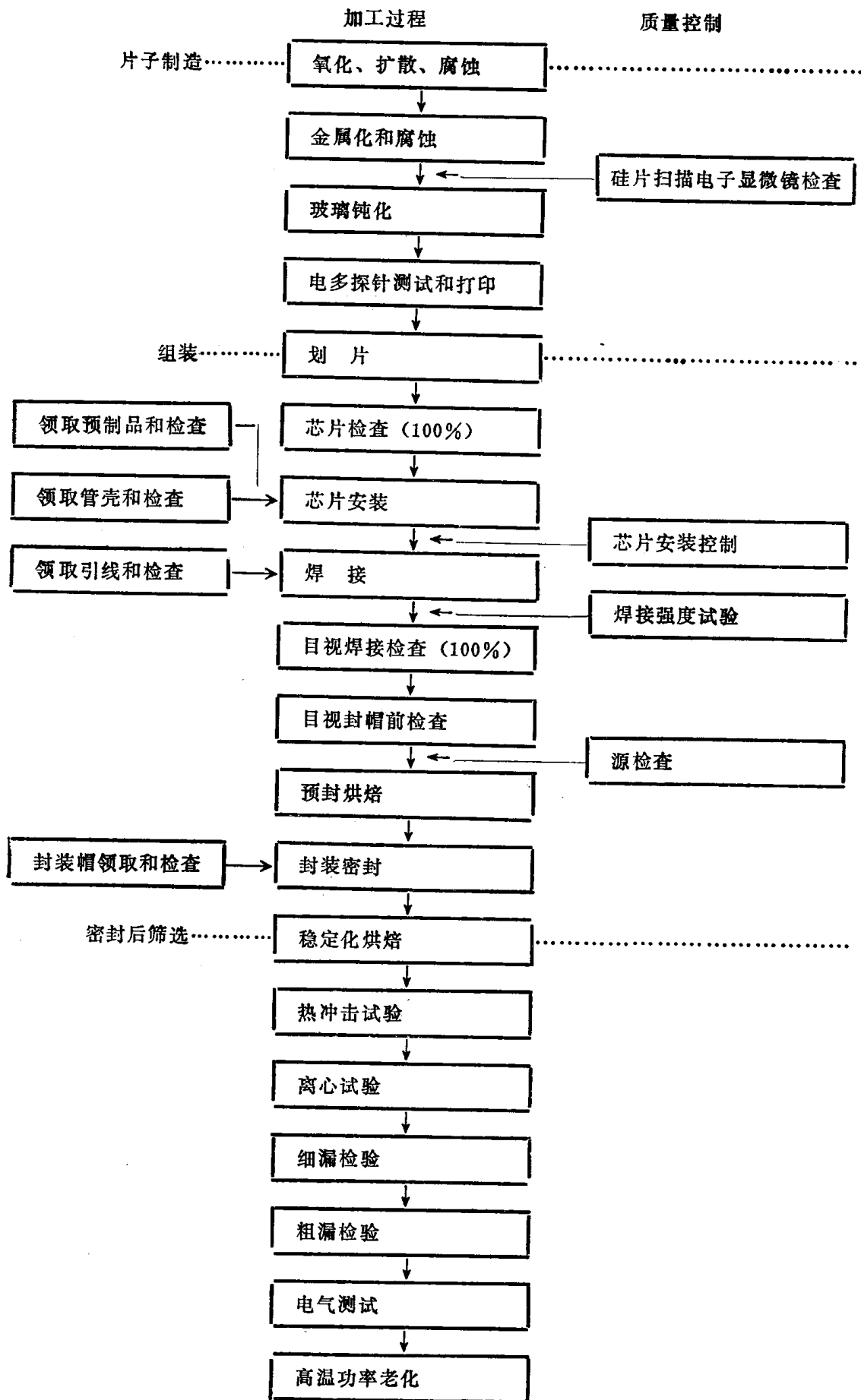


图 5、工艺流程表

表5 目视检查标准

缺陷	NASA或JPL 技术规范	MIL-STD 883		Minuteman (参考9)
		试验条件 A	试验条件 B	
<p><u>金属化缺陷</u></p> <p>划痕: 未受影响的金属宽度 复盖于氧化物台阶上的未受影响的金属宽度</p> <p>空隙: 未受影响的金属宽度 复盖于氧化物台阶上的未受影响的金属宽度 复盖于发射极区上的未受影响的金属宽度</p> <p>蚀腐</p> <p>变色或起斑</p> <p>附着: 浮起、脱落, 气孔</p> <p>探针印志: 不在焊区上 在焊区上</p> <p>跨越: 最小分离</p> <p>漏准: 接触窗</p> <p>其他</p> <p>铝-金 银灰易质熔</p> <p>铝钴蚀</p> <p>铝暴露</p> <p><u>氧化和扩散缺陷</u></p> <p>桥接: 扩散区和金属化条之间</p> <p>窄扩散区: 最小</p> <p>视在短路: 金属和下面的材料之间</p> <p>激活结: 没有生长二氧化硅</p> <p>结区接触切割</p>	<p>100 × min (最小)</p> <p>50%</p> <p>100%</p> <p>75%</p> <p>75%</p> <p>100%</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>表面下面没暴露</p> <p>正常的50%</p> <p>100%</p> <p>0.25密耳</p> <p>没有</p> <p><1/4宽</p> <p>50%</p> <p>100 × min (最小)</p> <p>0.25密耳的间隔</p> <p>50%</p> <p>没有</p> <p>没有*</p> <p>没有</p>	<p>100 × min (最小)</p> <p>50%</p> <p>100%</p> <p>75%</p> <p>75%</p> <p>75%</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>类似划痕和空隙</p> <p>规格较宽容</p> <p>正常的50%</p> <p>75%</p> <p>0.25密耳</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>100 × min (最小)</p> <p>接触</p> <p>25%</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>没有</p>	<p>75 × min (最小)</p> <p>50%</p> <p>75%</p> <p>50%</p> <p>75%</p> <p>75%</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>类似划痕和空隙</p> <p>—</p> <p>0.1密耳</p> <p>50%</p> <p>0.1密耳</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>75 × min (最小)</p> <p>接触</p> <p>25%</p> <p>没有</p> <p>没有</p> <p>没有</p>	<p>80 × min (最小)</p> <p>50%</p> <p>0.6密耳, 50%</p> <p>0.75密耳</p> <p>0.75密耳</p> <p>150 × min (最小)</p> <p>没有</p>

*也用于玻璃钝化层上

表 5 (续)

缺 陷	NASA或JPL 技 术 规 范	MIL STD 883		Minuteman (参考9)
		试 验 条 件 A	试 验 条 件 B	
接触窗：位置小了、大了、错了 附着：脱落、浮起、裂纹、裂缝 厚度或颜色不均匀 错位或堆垛层错	没有 没有 没有 没有	— — —	— — —	
<u>划片和硅片缺陷</u> 边缘分离；边缘和激活区之间氧化层 碎裂或裂缝；在激活电路区 裂缝；最长的长度 距激活区最近距离 指到激活区 包括激活金属化在內的硅片附近的附着部分 硅片裂成许多小碎片	100 × min (最小) 1 密耳 没有 5 密耳 1 密耳 1 密耳 没有 没有 30 × —50 × 2 —4 × 引线直径 90% 全 部 是 对于 1 引线直径来说 1.2—2.0 × 引线直径 >2.0 × 引线直径 90% 10—30° 10—75%	100 × min (最小) 0.25 密耳 没有 5 密耳 0.25 密耳 1 密耳 没有 — 30 × —50 × 2 —6 × 引线直径 75% 全 部 是 — 1.2—3.0 × 引线直径 1.5—5.0 × 引线直径 75% — —	75 × min 0.1 密耳 没有 5 密耳 0.1 密耳 1 密耳 — — 30 × —50 × 2 —6 × 引线直径 50% 全 部 是 — 1.2—3.0 × 引线直径 1.5—5.0 × 引线直径 50% — —	80 × min (最小) 1.5 密耳 里面没有 1 密耳
<u>焊接检查</u> 球焊：直径 在没钝化焊片内的位置 在引线柱上的位置 引出线：对称的 垂直的 其他焊接：宽度 长度 钝化焊片中概焊位置 焊点处的引线角度 焊接压缩凹入				

*也适用于玻璃钝化层上