

半导体生产技术 资料汇编

“半导体生产技术”編譯組編譯

國防工業出版社

半 导 体 生 产 技 术

資 料 汇 編

“半导体生产技术”編譯組編譯



國防工業出版社

內 容 簡 介

本汇编共包括68篇有关半导体生产技术的文章。主要内容为晶体管生产的自动化和半自动化、硅和锗的制备、工艺和测试,以及几种晶体管的设计和制造。

本汇编可供从事半导体生产的技术人员参考。

半导体生产技术资料汇编
“半导体生产技术”编辑组编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

国防工业出版社印刷厂印刷 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张12⁷/₈ 299千字

1962年8月第一版

1962年8月第一次印刷

印数: 001—500册 统一书号: 15034·613

目 录

第一部份 晶体管的自动及半自动生产和生产流程

一、晶体管制造技术的发展趋势.....	5
二、美国国际商业机械公司的合金结晶体管全自动装配线.....	9
三、美国飞歌公司高频电学晶体管的自动化生产.....	16
四、美国西方电气公司的自动化晶体管装配机.....	22
五、英国新市场晶体管公司的鍍合金晶体管的生产.....	30
六、英国斯温登工厂面垒型晶体管的半自动化制造过程.....	43
七、英国通用电气公司的半导体生产.....	48
八、英国法兰蒂公司小型硅二极管的自动化生产.....	55
九、西德德律风根公司鍍合金晶体管的生产.....	57
十、日本东芝公司半导体晶体管的生产技术.....	63

第二部分 硅和鍍的制备

硅的提純	69
十一、高純度硅晶半导体的提炼概述.....	69
十二、超高純硅的几种制取方法.....	71
十三、用热分解硅烷法制备純硅.....	72
十四、热分解硅烷制取純硅的一些改进方法.....	74
十五、硅的碘化精炼法.....	75
十六、用碘化法制取高純度硅.....	78
十七、小規模試驗性碘化法硅提純設備.....	80
十八、用鋅还原四氯化硅的方法制取純硅.....	85
十九、四碘化硅的制备和分解.....	88
区域熔炼	91
二十、硅的区域提純.....	91
二一、用无坩埚垂直区域熔炼法制取单晶硅.....	93
二二、用水平悬浮区域熔炼法制取高純度硅.....	94
二三、用区域夷平法制取均匀电阻率P型硅.....	96
二四、硅的电子束区域熔炼.....	98
二五、区域熔炼的自动装置.....	99
拉晶	101
二六、制取单晶硅的两种方法.....	101
二七、用拉晶法制备单晶硅錠.....	103
二八、改进了的切克劳斯基拉晶炉.....	106
二九、新的硅拉晶炉.....	110
三十、利用梯耳·利特耳 (Teal-Little) 法生长大直径硅和鍍晶体.....	111
三一、5 公斤鍍单晶的生长.....	113
气相生长	116
三二、半导体气相生长法.....	116
三三、蒸汽淀积的单晶鍍.....	117
树枝状生长	119
三四、适用于自动化生产的树枝状生长工艺.....	119

三五、鍺晶体的枝状生长	120
三六、鍺晶体枝长法的简单设备	121

第三部分 工艺和测试

扩散技术	124
三七、扩散技术	124
三八、論鍺、硼、磷、砷在硅中的扩散	128
三九、用固态扩散法来形成結结构	132
掩蔽技术	136
四十、氧化掩蔽技术	136
四一、用氧化物掩蔽法制造双扩散硅高频开关晶体管	138
四二、用箔法在硅中进行扩散和氧化物掩蔽	140
四三、真空蒸发的掩蔽技术	143
化学浸蚀和化学加工	145
四四、鍺与硅的浸蚀工艺	145
四五、半导体晶体的电解浸蚀切割	149
四六、微合金扩散基极晶体三极管的新工艺 (消息)	151
四七、熔入钢以前鍺单晶体表面工业腐蚀的研究	151
四八、鍺的精确腐蚀法	152
光鑲技术	154
四九、光鑲技术 (Photolithographic Technique) 在半导体器件制造上的应用	154
机械加工	158
五十、鍺和硅晶体的切片和切块	158
五一、精密半导体材料自动切片机	159
五二、半导体的薄片切割 (消息)	161
装壳与密封	162
五三、英国軍用电子研究所的一种半导体器件封口设备	162
五四、1960年美国晶体三极管管壳小型化发展展望	164
五五、半导体器件的管壳設計	165
测试和分类	172
五六、高速晶体二极管自动化测试设备	172
五七、晶体管及二极管自动测试机 (消息)	175
五八、晶体管 β 值的自动测量	177
五九、穿孔卡自动分类机	179
半导体工业用水	182
六十、半导体器件生产中的消电离水連續清洗系統	182

第四部分 几种晶体管的設計和制造

六一、六种硅晶三极管的基本制造方法	185
六二、英国法兰地公司 2T20 型台面式高频晶体三极管的制造	189
六三、台式晶体管的設計与工艺	192
六四、微合金扩散晶体管的制造工艺	195
六五、15瓦微合金扩散基极晶体管	196
六六、扩散N-P-N硅功率晶体管的簡易灵活制造法	197
六七、外延生长硅晶三极管問世	200
六八、外延生长晶体三极管的发展情况	201

第一部分 晶体管的自动及半自动生产和 生产流程

一、晶体管制造技术的发展趋势

编者按：这篇文章是美国西方电气公司的 A. E. ANDERSON 在 1959 年 5 月 26 日国际半导体会议上的报告，文章就晶体管的几种基本工艺类型探讨了今后美国晶体三极管工业生产的经济方面和发展趋势。文章对以往情况的反映少，对今后情况的估计多，同时提出了一些看法和观点，我们把它摘译出来，供读者参考。

目前，晶体三极管制造工业所面临的一个重要问题是：许多种类不同的工艺技术都有自己的优点和缺点，怎样才能在其中选择出最适当的工艺技术。在很多情况下，晶体管的电气性能要求是选择工艺技术时的决定性因素；但在某些情况下，则主要由经济因素来决定。很可能，将来选择晶体三极管的工艺技术时，将主要由经济因素来决定。

生长结晶体三极管的工艺水平，在过去有了很大的提高，并在今天的生产中还占居很重要的地位，但是它的缺点却很可能会限制它的进一步发展。其主要缺点在于：在生长过程中不能进行很好的测试和控制，而晶体生长又是一个关键性的工序。生长结晶体三极管一直要到晶体三极管做出来以后，才能掌握它的性能。

合金结晶体三极管目前的应用已很普遍，虽然工艺上也存在问题，但这主要是发展上的问题，以及如何采用机械化生产来降低成本的问题。在美国，硅合金晶体三极管的产量一直在增长，并且还会随着这种晶体管在低频率和高功率方面应用的扩大而进一步增长。

扩散晶体管的工作频率很高，并能够与硅半导体材料很好结合，因此它具有良好的发展前途。扩散工艺的这两个特点，可能会促使许多类型的晶体三极管和二极管都采用这种工艺。

合金扩散工艺和生长扩散工艺好像是个混血儿，它一方面吸收了扩散工艺的一些优点，另一方面又分别利用了合金工艺和生长工艺的特点。

电化学工艺主要用来制造很薄的半导体基片，一般用在面叠型晶体三极管和微合金晶体三极管的制造中。

表 1 对美国八家大公司的试制和生产活动进行了分析，从而也说明了美国晶体三极管的工艺发展趋势。在低频低功率器件方面八家公司中有七家采用合金工艺，而没有一家采用扩散工艺。但在中等频率的器件方面，重点就转移到扩散工艺了。在高频器件方面，情况就更加明显了。在大功率器件方面，采用扩散工艺的不少，但重点还是合金工艺。在晶体二极管方面，虽然采用合金工艺的也不少，但采用扩散工艺的趋势则是突出的。通过对这八家公司的分析，虽然不拟作出结论，但可以看出，趋势是向扩散工艺发展的，扩散工艺可能成为各种半导体器件的共同工艺。

根据今后晶体管的生产主要取决于经济因素的观点，将几种工艺类型晶体管的今后估计成本和投资列于表 2。在计算时，以 P-N-P 合金结晶体三极管为 100，因为这种晶体管类型比较普遍。应该指出，在作出这样的估计时，要求解决许多前提条件。从工艺技术

表1 美国八家主要企业的晶体管生产情况(按工艺统计)

晶体三极管的类型	企 业 数		
	生 长	合 金	扩 散
低功率			
低频(<10兆赫)	3	7	
中频(10~50兆赫)	3	3	7
高频(>50兆赫)	1		7
功率			
低频(<10兆赫)	1	7	3
中频(10~50兆赫)			3
高频(>50兆赫)			1
晶体二极管			
低速(整流器和限幅器)	1	3	7
中速(计算机和调制器)		4	5
高速(计算机和调制器)		2	5

表2 晶体三极管的成本和投资的比较

工 段	成 本 比 较				
	P-N-P 鍺 合 金	N-P-N 鍺 生 长	P-N-P 鍺扩散合金	N-P-N 硅台面式扩散	P-N-P 鍺台面式扩散
	%	%	%	%	%
成本比较					
晶片、切片、清洗、腐蚀	11	}73	17	3	2
形成面结的晶片	27		38	6	11
接引线	2		3	15	21
装壳用零件	17	34	24	11	16
零件加工	10	21	12	6	14
密封	7	7	7	3	5
测试	20	12	13	3	3
工序检查	6	3	6	3	3
总数	100	150	120	50	75
投资比较					
投资	100	70	100	50	60
厂房面积	100	90	105	80	100

观点来说,这种比较是没有意义的;但从商业观点来说,是完全必要的。这里列出几个前提条件如下:

1. 产量很高,各类管子都采用机械化生产;
2. 仅仅把目前能够预见到的晶体管和机器的改进因素考虑进去,而并不把重大的技术变革考虑在内;

3. 都是设计水平能够达到的高性能器件,这一点很重要;

4. 需要一段时间来解决稳定问题和制造问题,在某些情况下,可能需要几年的时间。

除此以外,还有许多前提,有些是我们了解的,有些是我们不了解的。

从表中可以明显地看出,扩散管的成本较低,这是因为利用扩散法,一炉可以生产大批晶体管,因而成本较低。做出这样的分析,是以假定第一和第二工段中的40多个工序会

順利地被簡化、控制和取消為前提的。雖然引線的連接很費工本，但我認為在這方面的成本會進一步降低。實現表 2 的估計，問題主要在於化學工藝和半化學工藝方面，而不在于引線連接方面。表中的數據表示，擴散硅晶體三極管比擴散鍺晶體三極管更為有利。但應該指出，這裡也有不確當的成分，因為擴散鍺晶體三極管的性能要比擴散硅晶體三極管好。

有些工段的成本要素看來應該是一樣的，如管殼零件，但表中卻有很大的差別，這主要是由於成品率不同而引起的。例如：擴散管在裝管座時的合格幾率較高，而合金管就要差一些，生長管就更無把握。雖然表中數據對擴散管具有一定的偏見，但我認為表中的次序是正確的，相對數字具有一定的意義。應該指出，表中的比較將不適合於不同用途的晶體管之間的比較。例如：收音機電視機中用的合金晶體管的成本就很可能要比電話設備中用的擴散晶體管，或甚至比工業用擴散晶體管要低。表中指的都是電話設備用的晶體管。不敢肯定，表中的數據是否適用於其他用途的晶體管，但我認為，既然適合於一種用途的晶體管，也就適合於其他用途晶體管之間的分析。

表 2 也列出了有關工具、機器設備和廠房面積的比較數據，當然，前面所說的前提條件在這裡也同樣適用。在這些方面，兩類擴散管都具有其優越性，但擴散管在工具、機器設備方面的投資較低是有一定根據的。因為一批可以製造大量晶體管。假定每塊晶片最少可以做 1000 個晶體管，並且同時能處理很多塊晶片，那末，一個最小的實驗室擴散爐一天也能製成約 50000 個或更多的晶體三極管。

表 3 列出了晶體三極管數據，其內容與表 2 的晶體三極管一樣。這裡以點接觸鍺晶體二極管為 100。應該指出，要解釋這些數據比解釋三極管的數據要更費事些，但從這些數據中直接來看，擴散二極管和合金二極管的改進是比較清楚的。合金硅晶體二極管和擴散硅晶體二極管的成本很接近。當然，合金二極管與擴散二極管隨用途的不同，其成本也會有很大差別。如果在分析成本時，除去一些性能方面和可靠性方面的因素不計在內，擴散二極管的成本就會降低。這種晶體管的反向電壓、反向電流、電容、開關速度和可靠性都較低，比優良的點接觸硅晶二極管要差得多，裝殼也簡單得多（用塑料）。對這樣的晶體管而言，擴散硅晶體管的成本可以減得很低。

表 3 晶體二極管的成本比較

工 段				
	點 接 觸 鍺	硅 合 金	硅 擴 散	嚴格硅擴散
	%	%	%	%
材料、切割、切片、腐蝕	11	29	56	19
形成面結	6	11	5	2
接引線	33	39	78	11
裝殼	22	39		2
密封	11	28	34	—
測試	17	64	47	16
總計	100	210	220	50

圖 1-1 給出今後美國晶體三極管的發展和趨勢。圖中數據包括了軍用器件和商用器件。這些數據得自有關權威來源。1958 年美國約生產了 4500 萬只晶體三極管，1963 年估計可以達到 4 億只。

图 1-1 (a) 中分别列出了扩散硅晶体三极管和扩散锗晶体三极管的数据。我并不同意这样的估计, 我认为硅晶体管的发展还会更快些。

图 1-1 (b) 列出了各种锗晶体三极管的估计发展。可以看出, 在 1963 年前后, 扩散锗晶体三极管将要超过合金锗晶体三极管。电化学晶体管和生长结晶体管的情况与作者提出的看法是一致的。

图 1-1 (c) 同样对硅晶体三极管作了分析。虽然硅晶体管 1958 年时还很少, 但其增长速度很快。我不同意这些数据。我认为对生长结晶体管的估计过高了一些, 对合金晶体管的估计低了一些, 我认为扩散硅晶体三极管的发展速度还要更快一些。

图 1-2 列出了各类晶体三极管的平均售价 (不是成本), 同样也包括军用器件和商用器件在内, 过去的平均价格是实数, 今后的平均价格是估计数。1958 年时晶体三极管的平均价格大约为 1.90 美元。1963 年时估计会降低到 1 美元, 表中的“点”表示到 1963 年时收音机电视机等用的晶体三极管的价格约为 0.63 美元。如果晶体三极管随着现在的某些趋势继续发展下去, 可以预计二极管与三极管的价格比例为 3~4:1。根据对晶体三极管的估计, 可以预计美国 1963 年晶体二极管的产量将为 10 亿只。

在结束本文时, 应该指出, 晶体三极管的工艺是非常分散的, 各种先进的工艺都可以做出优质的晶体管。

单美国就有大约 40 家晶体三极管制造企业, 其他国家已知的约有 25 家晶体三极管制造企业。晶体三极管制造企业的数目, 即使不是每月都在增长, 也是每年都在增长。

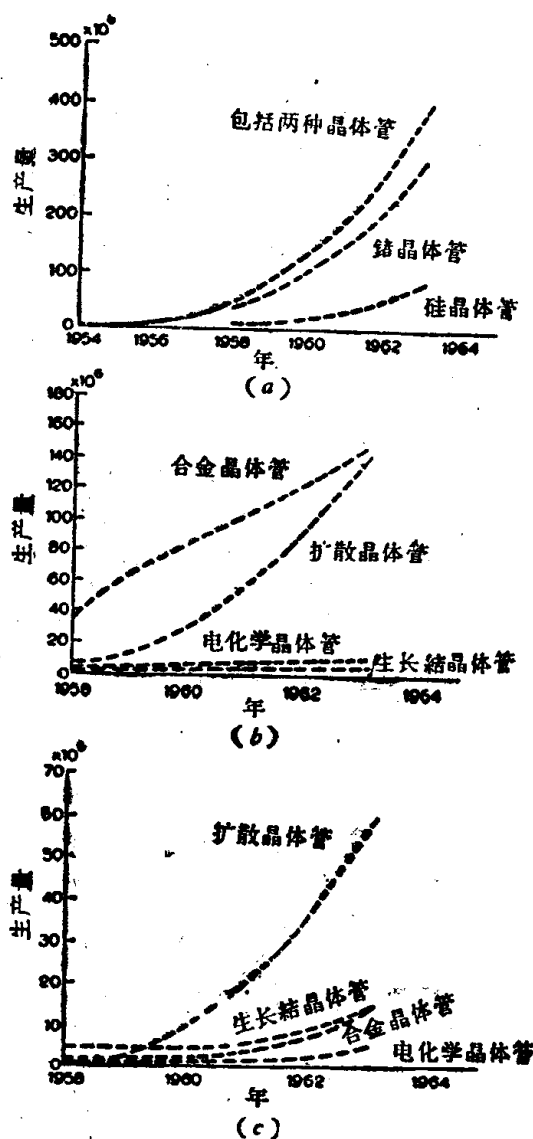


图1-1 美国晶体管的发展趋势:

a—包括各种类型; b—锗晶体管;

c—硅晶体管。

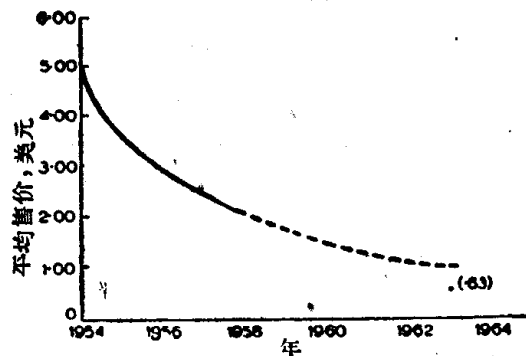


图1-2 晶体管价格的降低趋势。

资料来源

1. PIEEE. vol 106 (B) Suppl. No17. P. 1160~1162 (1959).

二、美国国际商业机械公司的合金 結晶体管全自动装配綫

美国国际商业机械公司的晶体管自动装配綫剛投入生产时每小时能装配 1800 只晶体管，即每两秒钟能装配一只晶体管。每只晶体管的装配周期为90分钟。經過試運轉生产后，現在每小时能装配2500只晶体管，据說是美国目前生产率最高的一条自动装配綫。

这条自动綫由 9 个主要部分组成，即：6 个 8 位轉台、一座合金炉、一座鍵結炉和一部焊接机。这 9 部分由傳送带連成一个整体，面积設計得很小，仅占地 500 平方呎。其中采用三种自动檢驗法，能自动完成 50 項檢驗工作，主要是光电管电路。装配的机械精度为 0.0005 吋。

自动綫利用預先加工好的晶体管元件进行装配。这六种元件是：发射极顆粒、收集极顆粒、鍺晶片、垫片、鬚絲和底座。装配时，先把发射极顆粒和收集极顆粒分別装配到鍺晶片的两面进行合金处理，然后装上垫片和发射极鬚絲，最后把垫片与底座焊接，把发射极鬚絲和管底引綫焊接。图 2-1 为晶体管的结构图。

自动装配綫的特点是在每一工序均对装配件进行檢驗，不合格的制品能及时地自动檢出，因此能制得特性一致的优质晶体管。

图 2-2 所示为自动綫的流程图。

第一轉台

第一轉台装配收集极顆粒，其工作順序如下：

1. 振动盘沿一条首尾相接的横向傳送带把运载船一个接一个地送往轉台的第一工位，当轉台上的每一夹持器轉到第一工位上的規定位置时，一根能前后移动的棒把最前面的运载船装入夹持器中，然后轉到第二工位。

2. 在第二工位上，光电管及光源电路檢驗运载船是否已真正装入夹持器内。如果没有装入，第三工位就自动停止供給收集极顆粒。

3. 如果运载船已装入夹持器，在第三工位上收集极顆粒用送料斗送入轉到的运载船中，并用抽真空法校正顆粒的位置，使它正好位于运载船底部的孔中。图 2-5 为饋送收集极顆粒的情况。

4. 第六工位利用光电法檢驗收集极顆粒是否已真正装入和位置是否正确。檢驗装置由位于轉台上的光源和轉台下的光电管組成。如果顆粒的位置正确，光束便不能穿过运载船底部的小孔照射到光电管上。

5. 在第 8 工位上，合格的运载船被送上传送带，然后送往第二轉台的第一工位。没有顆粒或顆粒位置不正确的运载船則被自动地剔除出去。

第二轉台

第二轉台装配鍺晶片、工作順序如下：

1. 来自第一轉台的运载船进入本轉台的第一工位。然后轉到第二工位进行檢驗，确

定运载船是否真正装在夹持器中。如果运载船没有装入，在第三工位上将不会有锺片送出。

2. 锺晶片在装入轉台前，先送到一个旋轉饋送器中，并在其中取向。破片和屑片即被剔除。合格的锺晶片被送到直綫饋送槽中。

3. 锺片沿饋送槽下滑时，通过两座控制桥，超过公差的、粘污的以及成双的锺晶片均被剔除。

4. 在饋送槽端，用一真空探針取出锺晶片，并将其放到錐体的小孔中去，导引錐体即能使锺晶片落到运载船中預定的位置上。

5. 在第三工位装入锺片，在第六工位檢查锺片是否已真正装入运载船中，以及位置是否正确。然后把运载船轉到傳送帶上送往第三轉台。图 2-6 为在第三工位装入锺片的情况。

第三轉台

第三轉台装配发射极顆粒，工作順序如下：

1. 第一工位接到来自第二轉台的运载船后，轉到第二工位用光电法檢驗。
2. 第三工位把一个炭质插塞装到运载船中，其作用是把以后装入的发射极顆粒的位置校准在锺晶片的中心。
3. 第四工位用光电法檢驗运载船中是否有插塞，以及插塞的高度是否正确。
4. 发射极顆粒在第五工位装入插塞中，然后轉到第七工位用反射光装置檢驗顆粒是否已真的装入以及位置是否正确。图 2-7 为饋送发射极顆粒的情况。
5. 第八工位剔除不合格的装配件、并把合格的装配件用凸輪推进器推上傳送帶，送到合金炉中。图 2-8 为插塞外形。

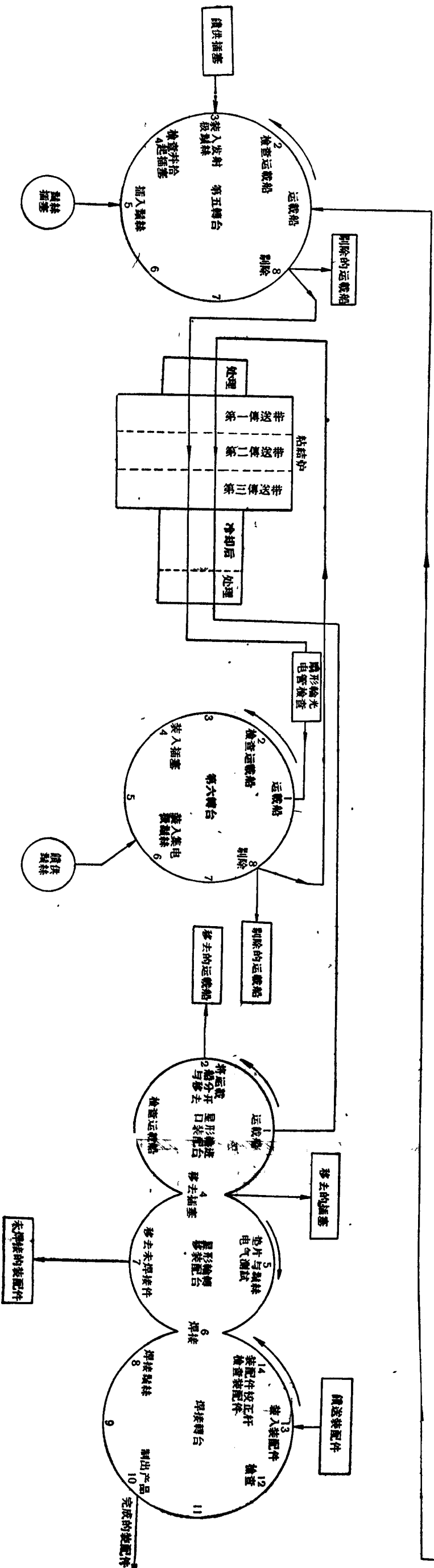
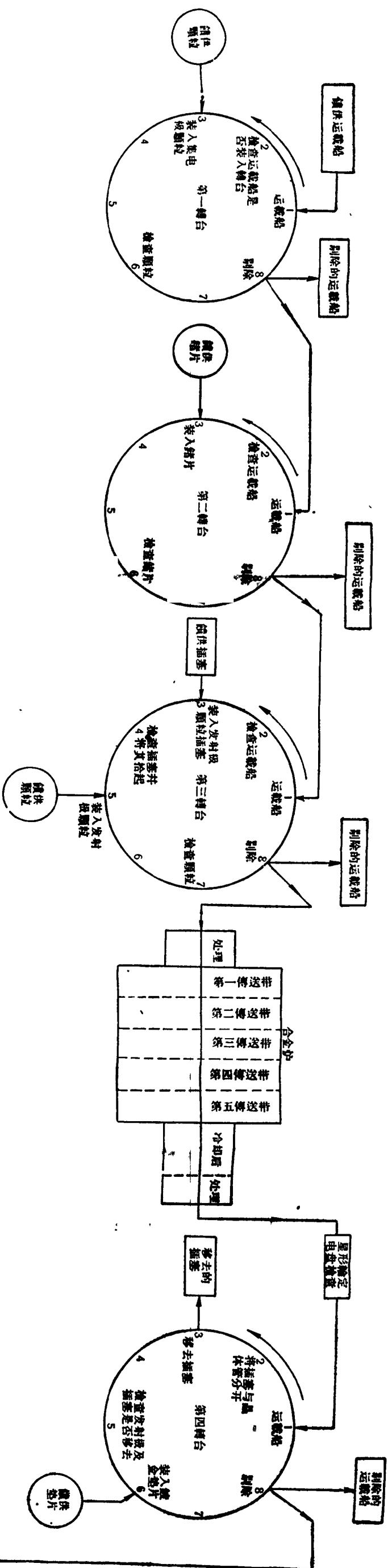
合金炉

运载船中的收集极顆粒、锺晶片和发射极顆粒在隧道式合金炉中作合金处理后，通过出口端的冷却区，然后用寬傳送帶送往第四轉台。傳送帶的容量应能容許暂时貯放来自合金炉的运载船。

第四轉台

第四轉台装配基极垫片，工作順序如下：

1. 插塞和經過合金处理的装配件在运载船中送到本轉台的第一工位。
2. 在第二工位将插塞与經過合金处理的装配件分开。在第三工位移去插塞。
3. 第五工位檢查运载船內是否有装配件及插塞是否已被移去。
4. 在第六工位上把鍍金垫片装在經過合金处理的装配件上。装放时，先用振动饋送器送到一个杯中的預定位置上，再用真空探針将其装入运载船內。
5. 第八工位接收合格的装配件和剔除不合格的装配件。图 2-9 为在第六工位上装入垫片的情况。



第五轉台

第五轉台装配发射极鬚絲，工作順序如下：

1. 来自第四轉台的运载船进入本轉台的第一工位，然后轉到第二工位进行檢驗。
2. 在第三工位上，在每一运载船內装入一个插塞。
3. 第四工位檢驗插塞是否已确实装入和插塞的高度是否正确。
4. 在第五工位上，将一根发射极鬚絲从卷筒上插入插塞中間的小孔中，使其与发射极顆粒相接触。然后把鬚絲切断。
5. 第八工位接收合格的装配件，然后通过一系列的傳送帶把它們送到鍵接炉中去。图2-10为装配发射极鬚絲的情况。

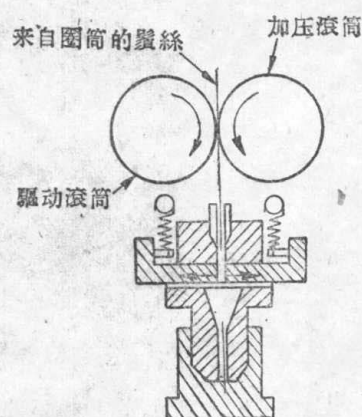


图 2-10



图2-11 載有經過合金处理的收集极顆粒从合金炉（背景）移往轉台（前景），在第四轉台（左）上移去插塞并放入垫片。在第五轉台上（右）放入引綫插塞并插入引綫与发射极顆粒相接触。

鍵結炉——第一次鍵結处理

来自第五轉台的运载船通过鍵結炉，在炉中把发射极鬚絲鍵結到发射极顆粒上。把垫片鍵結到鍍片上，經過冷却后送往第六轉台。

第六轉台

第六轉台装配收集极鬚絲，工作順序如下：

1. 来自鍵結炉的运载船装入本轉台的第一工位，然后轉到第二工位进行檢驗。
2. 第四工位把运载船上下翻轉，以便能將收集极鬚絲插在运载船底部的小孔中。

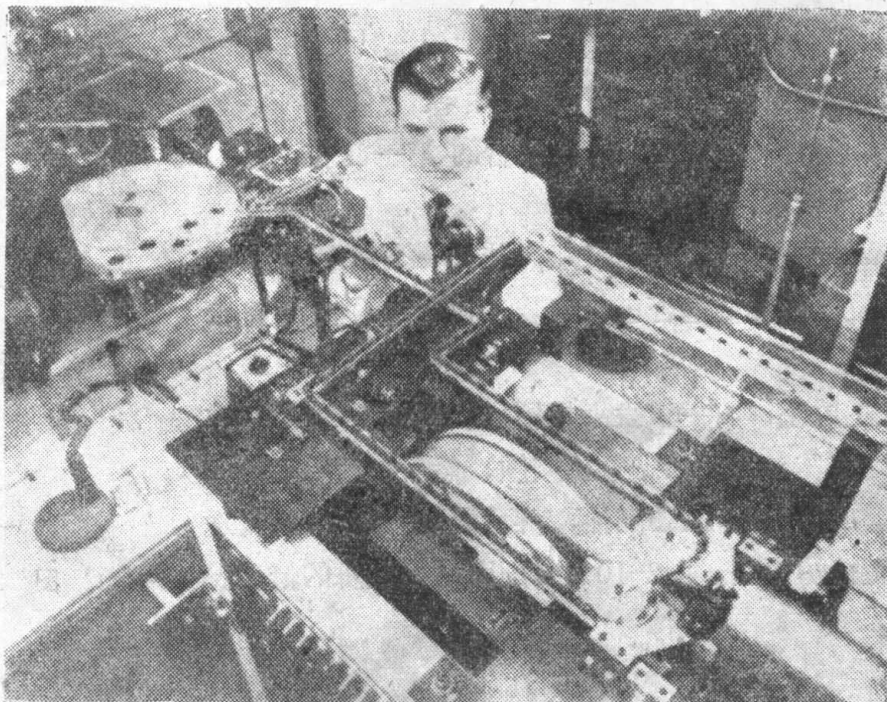


图2-12 左面为第五轉台；人手处为第一次鏈結处理用的傳送帶；上面为第二次鏈結处理用的傳送帶。

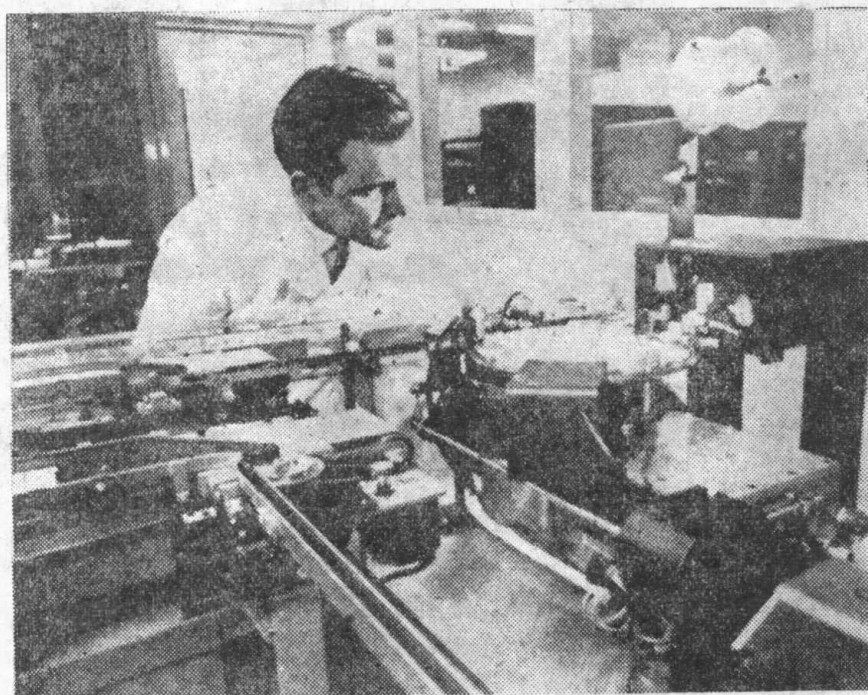


图2-13 第六轉台（右）；寬傳送帶（背景左）；离开鏈結炉的寬傳送帶（前景左）；通向焊接机的傳送帶（前景）。

3. 在第六工位把收集极鬚絲插入孔內，使其与收集极顆粒相接触。然后把运载船再重新送回鏈結炉。

鏈結炉——第二次鏈結处理

来自第六轉台的运载船再次經過鏈結炉，把收集极鬚絲鏈結到收集极顆粒上。运载船第二次从炉中出来轉向焊接机时，其中載有經過合金及鏈結处理的收集极顆粒，

鍺晶片、发射极颗粒、垫片、发射极鬚絲和收集极鬚絲以及尚未取出的插塞。图 2-14 为焊接机（前景）。

焊接机的作用是测试经过合金和键结处理的每一装配件，并形成发射极和收集极引线，同时焊接底座。它由三个转台组成，即星形轮进口装配台、星形轮转移装配台和焊接台，这三个转台共有 14 个工位。

运载船在第一工位进入，在第二工位与带有装配件的插塞分开并被取走。在第三工位检验运载船是否已真正取走。第四工位移去插塞，并用捏钳式抓夹器运载到第五工位。第五工位对垫片、鬚絲等的电接触进行检验，确定接触是否正常，然后转到第六工位把垫片焊到底座上的承载部分上。底座是人工用手装入送料斗中，从第 3 转台进入这一位置。



图 2-14

第六工位是第三转台的一个工位。如果装配件能顺利地通过电接触检验，垫片将在此工位焊接到底座上，然后进入第三转台的其它工位。如果电接触不合格，第六工位便不会进行焊接，装配件将继续留在第二转台，并转到第七工位取出。在这种情况下，为进行焊接而转到第六工位的底座将自动放在第三转台上重新循环。

这之后，在第三转台上焊好的装配件移向第 8 工位，旋转 90° ，以便把发射极和收集极触鬚同时焊接到管底引线上。至此全部装配过程结束，装配件从第 10 工位送出。

装配完毕的晶体管还须进行浸蚀处理、测试、装壳和分类。

机械设计

由于晶体管的零件小而易碎，因此每一零件的供料、装配及检查均在圆转车上进行。机器的主要部分应采用习惯设计，但采用标准零件可减少设计及制造时间，并可把备用零件的数目减至最小。机械标准化的结果亦可能将标准化应用到电气控制上去。

径向转动的主动部分采用 Ferguson 主动凸轮以及有四个开关控制的输出速度，其范围由 $1.4 \sim 4.1$ 周/秒。转台上有 8 个工位已经能满足目前的需要，即使有更新设计时，机器也无须作重大的改变。

检验仪器

在自动装配线中采用了三种检验仪器：

1. 机械限制开关——它确定通过整个过程的运载船的高度，保护运载船免受损坏；在装料过程中，防止过高的零件通过；对于装配不当的零件亦能及时指示出来。
2. 真空开关——它的作用是确定垫片是否已被真空探针取去。
3. 光电管电路——这是主要的检验仪器。由一个光源和一个光电管构成。光电管的电

阻随着落于表面的光强的增加而减少。光电管、阻流电阻及灵敏的继电器均连接在一起，交流电源为 117 伏。

光电管电路的设计原则有二。如果运载船中没有零件，光束便能垂直地通过运载船时，在转台上放置光源，在转台下放置光电管；在光线不能通过运载船时，则在转台的同一面上放置光源和光电管，使光束反射到光电管上。

逻辑电路

除插入接线的工序外，每一转台包括一个最后的检验器件以决定运载船继续进行或是不能通过。预定的连续不能通过的运载船累积起来后，能自动停止任一工序，若正在装配的晶体管位置不对，则发出一个信号到继电器变换的记发器中，在其中信号送到各继电器中，使机器重新运转一周。

记发器的最后继电器形成了一个由凸轮运转电路断路器到螺线管的通过或不能通过的电路。流过各螺线管的电流是由凸轮运转电路断路器所接通或断路。各继电器只是用来构成一个电路。重复拒收电路是由时间记录计组成，每当装配件被通过时，它就重新调整。为了使连续拒收（不能通过）的数目不能过大，时间周期应加以调整。当没有装配件通过时，机器就停止。

每一转台装有传送过载检测器，当转台的输出传送器装满时，它就使转台停止。该探测器是由装在传送带上的光电管所组成。运载船将光线遮断，引起光电管继电器释放。然后继电器逻辑电路被通过电流，以决定运载船是否送往下一部机器；如果运载器不送出，则机器将停止，直到光线再度通过时为止。

资料来源

1. Automation 1961 年 1 月 P. 60。
2. Electronics 1960 年 3 月 25 日 P. 57。

三、美国飞歌公司高频电化学晶体管的自动化生产

美国飞歌公司经过四年的准备制成了一条每小时能生产 450 个电化学晶体管的自动浸蚀和电镀流水线。

这条流水线由一系列设备组成。它共完成全部晶体管生产中的 33 个工序。这些设备几乎是全自动化的，利用它们生产出来的晶体管，其价格与电子管的价格大致相似。

图 3-1 为自动线的流程。本文将着重介绍电化学晶体管特有的一些加工技术。

电化学晶体管的基本构造

图 3-2 是一种高频电化学晶体管的横断面。它由一个 0.004 吋 $\times 0.072$ 吋 $\times 0.115$ 吋的锎片构成，锎片上扩散有厚 $0.00008 \sim 0.00015$ 吋的一层砷。这一锎片用锡焊料焊在镍片上，并用电化学喷射浸蚀的方法浸蚀出两个同心穴坑。发射极穴坑直径约为 0.009 吋，深 0.0001