

国外电子管概况

国外电子管概况

上海科学技术情报研究所

目 录

一、综述	(1)
二、电子管发展简史和技术经济概况	(6)
三、几种主要电子管发展概况	(17)
(一)速调管	(17)
(二)行波管	(27)
(三)磁控管	(43)
(四)前向波放大器	(51)
(五)返波管	(63)
(六)金属陶瓷管	(68)
(七)阴极射线管	(86)
(八)彩色显象管	(93)
(九)摄像管	(104)
(十)电子管阴极	(118)
(十一)设计电子枪的计算机方法	(134)

综 述

在十九世纪的最后几年,人们发现了阴极射线。几乎同时还出现了利用阴极射线的 X 光管和示波管。实验证明,这种阴极射线实际上就是电子流。实验又表明,电子是一种带负电荷的微小的物质粒子,它的荷质比很大,因而极易受电场和磁场的控制。这个特性加上自由电子的容易获得,使产生和控制自由电子运动的“电子管”成为人类前所未有的一种工具。电子管的出现,对生产技术的发展起了很大的推动作用,并因此导致了一门重要的技术科学——电子学。

近代电子管的主要类型如表 1 所示。它们在国防和国民经济方面的地位是不言而喻的。

表 1 几种主要电子管

类 型	1. 二极管与栅控管	二极管,多极管,束射功率管,变频管,复合管,调谐指示管,次级电子倍增管,超高功率四极管
	2. 微波管	减速场管,速调管,磁控管,行波管,返波管,行波速调管,前向波放大管
	3. 电子束管	示波管,雷达显示管,显象管,飞点扫描管,干式印刷管,电子束开关计数管,象加强管,变象管,摄象管,存贮管
	4. 光电器件	光电管,光电倍增管,光电池
	5. 离子管	电晕放电管,闸流管,天线开关管,气体放电灯,稳压管,计数管,氖泡,充气二极管,汞弧整流管,微波噪声管,引燃管,避雷器,频闪管,气体激光管

几十年来,电子管的飞速发展证明了伟大导师恩格斯指出的一条真理:“社会一旦有技术上的需要,则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”人们对电子管的最初需要是在于无线电通讯。第一个最简单的电子管——二极管出现于 1904 年,当时它只能代替晶体检波器,因而没有引起很大的重视。然而 1907 年在二极管的阴极和板极之间加了一个控制栅极以后,电子管就起了质的变化。原因是栅极的引入使电子管具有产生等幅振荡和放大电磁波的性能。由于三极管产生的电磁波适应了远距离通讯的要求,电子管就开始有了飞速的发展。以后就出现了一系列的栅控电子管(包括多极管和复合管),绝大多数被用于广播和通讯。再后来随着使用电磁波的频率越来越高,栅控电子管在功率振荡、放大和噪声方面与使用频率出现了矛盾。为了克服这个矛盾,人们从实践中加强了认识,在 1940 年前后,逐步发展了采用外部动态控制的双腔速调管,用正交电磁场控制的多腔磁控管以及波束相互作用的行波管,为超高频电磁波(微波)的振荡和放大奠定了基础。在第二次世界大战期间,由于雷达技术的需要,微波电子管有了迅猛的发展;与此同时,作为雷达显示用的电子束

管的发展也极为迅速。在第二次大战以后,则很快转入电视、仪表、自动控制、多路通讯、核能装置等各个民用领域,其中收讯放大用管则开始小型化。五十年代,美帝妄图用武力称霸世界,大规模进行了导弹和核武器的研究,同时为了谋取利润,在民用方面大量发展电视和高频电热,这些都对电子管提出了新的要求;电子计算机的出现也起了推动作用,加以半导体晶体管的出现,在很多领域里与电子管展开了竞争,因而电子管的性能有了很大变化。六十年代由于空间计划和卫星通讯的需要,同时电子学的应用深入到医学、生物学、天文学、气象学等领域中去,因而电子管又出现了不少新的品种。

我们清楚地看到,电子管技术和其他技术一样,在帝国主义和社会帝国主义的国家里,无论军用或民用,都正如伟大领袖毛主席指出的那样,“可惜抓在资本家手里,不抓在人民手里,其用处就是对内剥削和压迫,对外侵略和杀人。”美帝在第二次世界大战期间,大做军火商,大发战争财,把掌握的资金和技术投入再生产,形成了规模巨大的电子管工业。在1947年大战刚结束不久,生产电子管的企业仅51个,但到1956年就增至156个,从业人员增加了1.5倍,达7万人左右。在侵越战争中,他们使用了包括电视制导炸弹在内的新式武器,进一步把电子管用于侵略和杀人。1970年美国的电子管销售额达10.82亿美元,生产了2.31亿个收讯管,577万个彩色显象管,425万个黑白显象管,750万个功率管、微波管和特种管,而且大部分产品能供军、民混用(例如在3,000多种型号的微波管中,军事专用的只有100多种)。第二次世界大战后的日本在美帝扶植下,电子管工业也发展到很大规模。1970年日本的电子管产值达5.19亿美元,生产了接近2亿个收讯管,687万个彩色显象管,790万个黑白显象管,111万个高可靠与通讯用管,66万个微波管,以及1841万个放电管。

二

电子管的发展经历了从简单到复杂、从低级到高级的过程。栅控电子管、微波电子管、电子束管和光电器件等几个大类,现在都已发展到较高的水平。各国在大量制造的同时,还逐步实现了系列化,以微波电子管为例,几个主要资本主义国家到1965年时定型的微波管已达4,000多种。在远程雷达、通讯设备、电视发送和基本粒子加速器方面用的大功率微波管中,目前多腔速调管在1.2~1.4千兆赫时运用的最大脉冲功率已达40兆瓦,连续波功率500千瓦(实验室研制水平为脉冲功率100兆瓦,连续波功率1兆瓦),增益可达70分贝以上;正交场放大管在2.84~2.88千兆赫时脉冲功率达25兆瓦,连续波功率为425千瓦;在信标雷达和船用、机载等移动雷达方面使用的磁控管,在L波段脉冲功率也可达到10兆瓦。用于高鉴别率雷达、微波通讯和物质结构研究方面的极短波长的微波管中,O型返波管能达到的最短波长为0.38毫米;反射速调管能达到的最短波长为0.42毫米,连续输出功率为200毫瓦。磁控管也达到了1.34毫米。在微波接收方面使用的低噪声放大器要求低噪声、高增益、宽频带以及能在室温下运用。目前低噪声行波管基本上能完全满足上述要求,实验室已做到的噪声电平为:S波段1分贝,C波段1.7分贝,X波段2.7分贝,甚至毫米波段也可使用,在85.5~94.5千兆赫时,噪声电平为15分贝,增益为20分贝。在带宽方面(主要是电子对抗和卫星地面站等方面的要求),在大功率管中,新型的行波速调管可达到10~15%(峰值功率10兆瓦);正交场放大管一般为10%(理论上可提高到20%以上);中等功率的

行波管已可得到倍频程以上的带宽,有一种用于连续波的行波管,能工作在 5.2~10.9 千兆赫的带宽范围内,并输出高达 1,000 瓦的功率;最高的带宽能做到 8:1(2~16 千兆赫,输出 2 瓦)。低噪声行波管也做到两个倍频程,用于 1~4 千兆赫,噪声为 7 分贝。对其他参数如频率调谐速度、频率稳定度、调频调幅噪声、效率、工作电压、重量、体积、寿命、可靠性等也有不同程度的进展,而且出现了不少新型的管子,以适应各种不同场合的要求。例如同轴磁控管解决了效率和稳定性的矛盾,在 X 波段效率已达 55%;反同轴磁控管延长了使用寿命从而提高了可靠性;电压调谐磁控管、旋转调谐磁控管和抖颤调谐磁控管大大改善了调谐速度(最高已达每毫秒 2 千兆赫)和抗干扰能力。前向波管以频带宽、效率高、工作电压低、体积小、重量轻而在移动雷达、多普勒雷达和相控阵雷达中获得广泛应用(缺点是增益较低)。多腔速调管在采用静电聚焦后,重量降低为同功率磁聚焦管的 1/6 左右。O 型返波管能够在宽频带范围内作高速扫描,寿命长,可靠性高,使用钐钴磁铁后体积和重量都可以和固体器件相媲美,而运用频率比后者要高得多。将线形注入前向波放大管(毕玛管)与分布发射前向波放大管(代玛管)复合而成的毕代玛管兼有二者的优点,在 2.8 千兆赫时可得到脉冲功率为 10 兆瓦,平均功率 200 千瓦,效率可达 70%。当然,实际需要与电子管的“适应”和“不适应”这两个矛盾着的方面,其转化是经常发生的,从而也就推动着电子管技术的不断发展。客观现实世界的变化运动永远没有完结,人们在实践中对于真理的认识也就永远没有完结。电子管当然不能例外,尽管它在目前已取得相当的水平,但一定还会继续发展。

三

在设想电子管今后的发展时,必须考虑到电子管和半导体器件的关系。在半导体器件刚出现的时候,有很多人预测电子管将全部被晶体管所取代。现在看来,这只是一种缺乏根据的臆测。多年来的实践证明,所谓“第一代电子管、第二代晶体管、第三代集成电路、第四代分子电子学(后来又有人把它推迟为第五代,而把大规模集成电路称为第四代)”的说法,除了电子计算机以外,在其他领域中几乎都没有确切的涵义。而且严格说来,在电子计算机方面也只有运算部分才真正体现了“换代”的优点,其他如输入和终端显示等外部设备,近年来反而大量发展了各种形式的高分辨率飞点管、多色显示管和用纤维光学面板的干式印刷管等等,以达到高速、可靠、直观等目的。

现在我们简单环顾一下电子管各个领域的现况。在微波管方面,大功率或宽带的各种器件,如多腔速调管、行波管等目前还不可能被任何固体器件所取代。在室温下运用的固体器件看来也还达不到低噪声行波管的优良性能。反射速调管在厘米波和毫米波段开始受到固体器件的冲击,但还有人认为它性能稳定,因而在某些军用设备方面继续使用。O 型返波管近年来产量有下降的趋势,但在毫米波段和亚毫米波段固体器件还不能取代。正交场器件近年来性能改进很快,体积也越来越小,还看不出有被固体器件代替的趋势。在电子束管方面,阴极射线管受到三个方面的挑战:第一是固体非扫描器件,这种器件目前最大的问题是亮度没有过关,而且价格随分辨率和显示面积的提高而急剧增长,因而还不能普遍使用。第二是真空非扫描器件,即采用正在研制中的微型阴极阵列,但这实际上只是采用了平面管技术,从器件本身来说不过是类似于等离子体显示的一种电真空器件。第三是光器件,最近发现激光束可以用晶体来调制以产生偏转,从原理上看,它的响应速度将超过电子束,但

很多理论上和技术上的问题还远未解决,因此不会很快就有实用价值;而且是否能代替所有的示波管,目前还是很难预料的。在直视式彩色显象管方面,还没有看到任何用固体器件代替的有效方案。在大屏幕彩色显示方面,三管投射式与其他各种型式(包括油膜、金属膜、液晶和激光大屏幕显示)目前还不相上下,当然以后可能会被逐步取代。甚至在电视机的电子线路方面,国外也有人主张电子管和晶体管混合使用,在高频调谐、中音频放大和自动音量控制等方面用晶体管,射频放大用电子管。在摄象管方面,最近出现的电荷耦合器件(CCD)可制成全固体自扫描摄象装置,有可能逐步取代现有的、一般性能的摄象管,在这个领域里,这是第一次真正遇到了固体器件的严重挑战。至于真空集成电路,据说包装密度可接近大规模集成电路,加工可以自动化,成品率也较高,但因为见到的正式报道不多,还不能据以判断是否能与半导体集成电路相媲美。

由此可见,很多品种的电子管在可以预见到的将来并没有被固体器件取代的可能性。较可能的却是双方都要相互补充、继续发展。特别应当指出,半导体与电子管截然分家的概念正在消失。引人注意的是,在电子管发展方面十分重要的一环恰恰是与半导体技术相互渗透。把电子管看作仅仅是金属与介质的结合物的观念已经陈旧。当然,从广义来说,过去在电子管内获得广泛使用的氧化物阴极、荧光粉、透明导电膜等都是半导体材料,但现在指的不是这些广义的内容。近年来在电子管方面广泛使用半导体技术的标志是开始使用 $p-n$ 结作为管子部件,同时大量采用平面管工艺作为制造部件的手段。例如在阴极方面,反向 $p-n$ 结和正向 $p-n$ 结肖特基势垒都可以作为冷阴极。负电子亲和力(NEA)器件可作为有效的光电发射阴极和打拿极(次级发射体)。MOS(金属-氧化物-半导体)光电阴极也是因袭了半导体概念的结果。硅靶摄象管的靶实际上就是一种大规模硅集成电路。此外已经试验成功了用调制的电子束轰击半导体构成了有巨大增益的行波管放大器以及微波噪声管,开关速率可以比隧道二极管高 2~3 个数量级。新型的微阵列冷阴极和三元碳酸盐-光致抗蚀剂低热阴极主要也是采用了平面管工艺。至于另一方面电真空技术早已普遍用在半导体器件的制造方面(如单晶制备、蒸发引线、电子束曝光、离子注入等)更是人所共知的事实。可以认为,电子管技术当前的发展趋势之一是与半导体技术相互渗透。

电子管发展的另一个趋势是广泛采用电子计算机进行设计和研究。在这方面目前应用得最多的是在于电子枪。除了计算各种电子束管,微波管(O型和M型)和电子显微镜用电子枪的焦距和象差外,现已开始利用给定的参数设计电极形状。举例来说,单枪单束的光引示彩色显象管中的窄焦点,分辨率达 4,500 电视线的回束光导摄象管的电子路径,M型行波管中复杂电子轨迹的描绘,都依靠了电子计算机的辅助设计。在微波管方面,还用电子计算机进行了宽带范围内的耦合电路阻抗方程的计算、高频互作用区的大讯号理论的导出、微波腔体中阻抗-优值比($\frac{R}{Q}$)的测量、大功率速调管的阳极设计、周期性永磁聚焦场的设计等。

使用计算机的结果非但大大缩短了设计和试制周期,还导出了新的理论结果。在栅控电子管方面,三极管特性(包括微波三极管)的精确计算、束射管的设计、大功率管的阳极散热设计等都用计算机作为工具。象加强管内的电子轨迹也用计算机来确定。甚至涂敷彩色显象管荧光屏用曝光台内的特殊校正透镜(包括几百个角度不同的分立透镜)也用计算机进行了设计。

电子管发展的第三个趋势是试制具有综合性优质指标的管子,即不是孤立地在大功率、

低噪声、宽频带、高可靠、低功耗、耐辐射等某一方面达到高指标，而是要求同时达到两个或两个以上的高指标。这就对材料和工艺提出了格外苛刻的要求。例如国外现在相应地研究了封离后电子管(或在使用过程中)的总压强、分压强、慢性漏气率、特性退化率等测定，以确定材料和制作工艺的合理性。新材料、新设计和新工艺的使用也特别受到重视，例如纤维光学面板和微渠道式电子倍增板已使变象管、象加强管与光电倍增管的结构和性能起了重大变化；钐钴磁铁使某些微波管的体积和重量大为降低；金属陶瓷管采用超蒸发冷却设计后，使广播电台用的超功率发射管连续波功率提高到2兆瓦(30兆赫时)，还可以用作极高功率的脉冲调制管；行波管采用双模式工作状态后，在电子对抗方面既可用于阻塞式干扰，又能用于应答式干扰，在机载设备上一个管子顶了两个管子的用途。

四

电子管的历史、现况和发展趋势使我们进一步领会到伟大领袖毛主席的教导：“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。”这一光辉的辩证唯物主义的科学论断，应当成为我们认识上和行动上的准则。我们一定要在马克思列宁主义、毛泽东思想的光辉照耀下，“打破洋框框，走自己工业发展道路”，把电子管技术从“发明家创造”的反动唯心史观和唯心主义形而上学的精神枷锁中彻底解放出来，让它在社会主义革命和建设中发挥更大的作用。

电子管发展简史和技术经济概况

随着无线电电子学的发展,电子管已经愈来愈广泛地深入到国民经济、国防建设和科学技术的各个领域。在无线电定位、导航、电视、遥测、天文、气象、测量技术、计算技术、人造卫星、宇宙航行等领域内都广泛地使用着电子管。

一、电子管的发展简史

电子管的出现和发展已有近百年的历史了。早在 1883 年美国爱迪生发现了这么一个现象,即在白炽灯泡内插上一根电极,当该电极相对于灯丝是正电位时,电流就流通;当负电位时,电流就不流通。六年以后,在 1889 年英国的汤姆逊提出了解释这现象的理论,认为这是由于热电子的作用。这样,到十九世纪末期(1897 年),世界上第一只电子器件——布朗管问世了,这就是现代阴极射线管、电视显象管的前身。

由于十九世纪末期人们对电子器件机理的致力研究,就为电子器件在廿世纪的蓬勃发展打下了基础。1904 年英国的弗莱明(Fleming)发明了二极管;三年后,1907 年美国的特·福雷斯特(De Forest)又发明了三极管;这样,电子管开始被人们所认识,并显示出旺盛的生命力,此后的半个世纪,电子管得到飞跃的发展,成为电子工业发展的最主要器件。在这五十年中,世界各国都致力研究各种类型的电子管,出现了许多种电子管(详见表 1)。

表 1 电子管发明简历表

发明年份	管 种	国家	发 明 者	发明年份	管 种	国家	发 明 者
1904	二极管	英国	弗莱明	1938	直射速调管	美国	凡里安
1907	三极管	美国	福雷斯特	1939	多腔磁控管	英国	兰德尔、布特
1919	“延迟场”微波振荡器	德国		1940	反射速调管	苏联	柯伐林库
1919	四极管	美国	肖特基	1941	金属陶瓷管	德国	德律风根公司
1921	单阳极磁控管	美国	赫尔	1943	行波管	英国	康普纳等
1925	析象管	美国	茨沃金	1946	正析象管	美国	罗莎等
1926	屏栅管	英国	鲁特	1947	电子波管		哈尔夫
1926	五极管	荷兰	特勒根、赫尔斯塔	1948	存储管		哈尔夫
1929	闸流管	美国	赫尔、朗格密	1949	功率速调管	美国	斯坦福大学
1934	光电倍增管	美国	茨沃金	1950	光导摄像管	美国	魏默尔、福尔格
1935	速调管	美国	汉德、瓦里安	1951	返波振荡器	法国	汤姆逊 CSE 厂
1936	二次发射倍增器	美国	茨沃金	1953	漂移速调管	美国	斯坦福大学
1938	束射功率管		谢德	1954	返波交叉场放大发射管		
1938	空腔谐振器		汉森	1963	行波速调管	美国	凡里安公司

回顾国外电子管发展的历史,我们就电子管的发明、研制、生产、工艺成熟程度及应用,把电子管的发展历史大致划分为三个阶段:即1900~1950年期间称为电子管的发展阶段;1950~1965年期间称为电子管发展的全盛阶段;1965年以后称为同半导体器件并行发展、互为补充阶段。当然关于电子管的发展历史国外也有不少报道,但看法各不相同,现在我们就国外发表的各种议论大致归纳成这三个阶段,并分别阐述各阶段的发展特点,供参考。

1. 电子管的发展阶段(1900~1950年)

从电子器件的发展史来看,人们经常把1900~1950年这五十年称之为电子器件中的电子管时代;把1950~1965年这阶段称之为晶体管时代;而把1965年以后称之为微电子学时代,如图1所示。当然这种划分不一定十分确切,但我们就1900~1950年这阶段器件的发明和用途来看,图中关于电子管的曲线是不断上升的;而就电子管本身发展历史来看,这五十年中,人们发明了许多种电子管,电子管的作用逐步被人们所认识,电子管的迅速发展又推动了整个电子工业不断前进,所以我们把这阶段称为电子管发展史中的发展阶段。

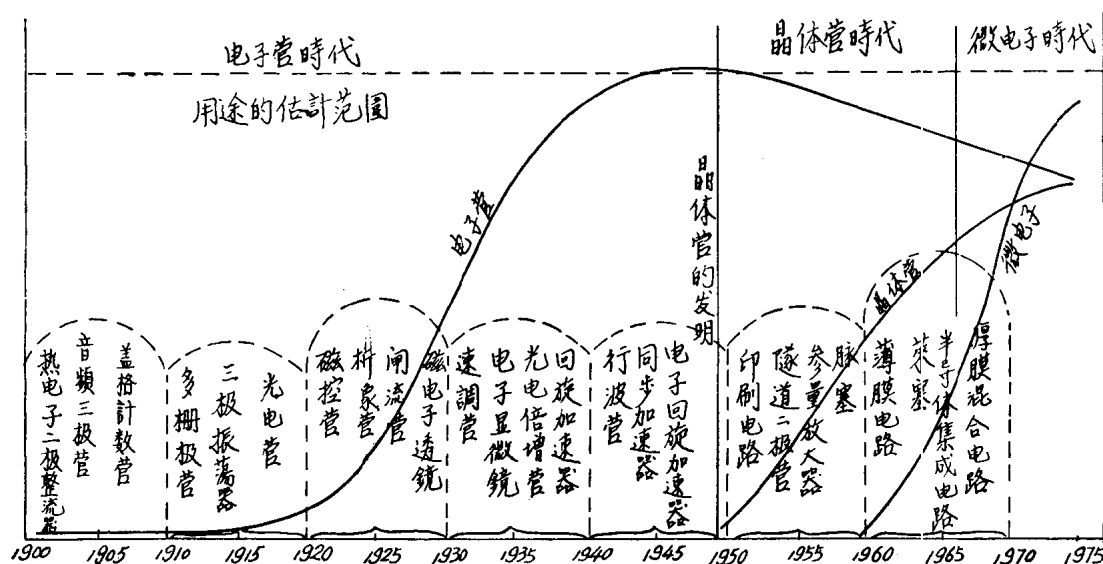


图1 电子器件发展简史曲线图

自1897年世界上出现第一只电子器件——布朗管以后,在廿世纪初期相继又发明了二极管、三极管;但由于开始时,二极管、三极管的应用局面没打开,同时制管工艺还未成熟,所以在廿世纪初期电子管工业发展缓慢,而在这阶段由于人们对电子管技术进行了大量研究,电子管技术得到了一定发展。到廿世纪三十年代,经过了人们的大量研究工作,先后发明了多栅极管、三极振荡器、光电管、磁控管、析象管、闸流管、速调管和光电倍增管等各种类型的电子管器件。这给电子管的迅速发展奠定了技术基础。到廿世纪四十年代,随着磁控管、速调管的迅速发展,再加上行波管的出现,使电子管器件开始朝军用方向发展。在第二次世界大战期间,各国的军用电子管工业有了较快的发展,如英国在第二次世界大战期间,电子管工业就发展到年产1,200万只电子管、1万只阴极射线管的规模,从1939年到1943年英国的电子工业产值增长了1倍,与此同时电子管也大量应用于军事工业,1938年英国首先使用了波长为1.5米和0.5米的早期雷达,在第二次世界大战的防空中起了不少作用,又如美

国,在1935年斯坦福大学发明速调管后,美国政府大量投资,在第二次世界大战中,美帝已把速调管应用于雷达中,并发展了不少新管型,电子管在军事中的重要性开始被人们认识。在民用方面,由于电子管收音机的大量生产,大大促进了电子管工业的迅速发展,同时在三十年代后期出现的两种电子束管——摄象管与显象管,使人们开始考虑用电子电视代替机械电视,所以到四十年代,随着电子管的制管工艺的日益成熟和应用途径的不断开辟,电子管开始大量应用于广播、电视等民用工业。

从国外电子管工业的发展阶段来看,我们认为有三个主要因素是促进电子管工业迅速发展的:

(1) 工艺技术的不断突破促进电子管工业的发展

就拿电子束管来看,它是1897年制成第一只布朗管的,是利用横向磁场,使电子束在空间偏移,到1911年苏联罗让斯采用了略经改进的冷阴极电子束管来研究瞬变电气过程,这样在1911年就开始有电子束示波管的记载,直到本世纪二十年代前,电子束管依然很少变化,主要的改进仅仅是凭经验选择电极的形状和电极的布置、选择气体压力和馈电电压而已,只是到了二十年代,人们开始对电子光学进行初步研究,从而使电子束管的研究建立在固定的理论上,然后到1924年由于人们对高效率氧化物阴极的研究和真空技术的发展,研制成功了低电压(即阳极电压低于1,000伏)的高真空电子束管;随着电子光学的发展,在三十年代电子束管有了新的突破,出现了新型的电子束管,首先是出现电视发送管和电视接收管——光电析象管和显象管,这样大大促进了电视工业的高速度发展;反过来由于电视技术的发展,要求制取更新更完善的电视发送管——正析象管、移象式正析管(超正析象管)、视象管(光导摄象管)以及其它高效率的电视发送管;同时要求改进和设计新型的电视接收管——显象管。在第二次世界大战期间,由于定位技术的突破,于是又产生了一系列无线电定位用的电子束管——定位管,在同一时期国外还研制成能把图象由一个频段变到另一个频段的新型电子束器件——变象管,利用这种器件,借助于红外线的照射可以在夜间看见物体。所以从上面电子束管的发展简史来看,电子束管的迅速发展完全有赖于工艺技术的不断更新和突破,尤其是电子光学的发展为电子管的发展打下了基础,促进了电子管的发展。

(2) 军事工业上的应用对电子管发展的刺激

从电子管工业的发展阶段来看,可以清楚地看出电子管的发展与军事中的应用非常密切,第一次世界大战期间出现的收讯管就是首先应用于军事通讯,后来出现的微波电子管与军事工业则更是休戚相关的了;如从磁控管的发展历史来看,1939年英国的兰德尔和布特在伯明翰大学研制成第一只400瓦脉冲磁控管后,由于当初磁控管在雷达设备中起的重大作用,磁控管得到迅速发展;特别是在第二次世界大战爆发后,英国面临着德国飞机轰炸和军舰袭击的威胁,迫切需要雷达设备作为防空侦察工具,因而就大大促进了对磁控管等微波电子管的研制。在第二次世界大战期间,世界各国的磁控管都得到了迅速发展,美国雷声公司每天制造1,400只磁控管,安装在雷达设备上;同时各国又大力开展对大功率磁控管的研制,1943年美国雷声公司就设计了带极靴的35千瓦磁控管。到第二次世界大战末期随着喷气机和导弹的出现又大大促进了行波管的发展,自1946年国外第一次发表行波管研制成果后,电子管在军事工业上适用于宽频带、大功率微波放大器的作用更显示出巨大威力,由此可见,国外电子管的迅速发展受到军事工业的强烈刺激。

(3) 消费品市场的扩大加速了电子管工业的发展

在电子管发展阶段,电子管的迅速发展除了制造工艺技术的不断突破和军事工业的刺激外,还由于消费品市场的不断扩大。如英国最早研制的电子管就是应用于电视广播,由于消费品便于资金周转,因此英国在战前和战后都十分重视这类产品的发展,从而大大促进了电子管的发展。英国在1930年就年产电子管收音机50多万台,到1937年竟达190多万台,同年电子管式电视机产量为3,000台,1938年就达7,000台,由于收音机、电视机的大量生产,就大大促进了电子管工业的发展,在第二次世界大战期间,英国就具有年产1,200万只电子管和1万只阴极射线管的生产规模。

2. 电子管的全盛阶段(1950~1965年)

电子管经过五十年的发展后,到1950年后比较成熟,各国都大量生产各种类型的电子管,在管种方面除了返波管以外,没有再出现什么采用新原理的管种,而只是在工艺设计方面作了一些改进。在这阶段,电子管无论在军事工业或民用工业方面都得到广泛应用,各国大量生产各种类型电子管,电子管器件呈现全盛时代,就拿日本来说,五十年代初期电子管生产规模不大,而到1956年电子管的年产量就达0.42亿只,到1960年日本生产了1.51亿只电子管;又如美国从五十年代初期到六十年代初期,黑白显象管的年产量几乎翻了一番,而日本、法国显象管生产都是从五十年代初期发展起来的,到五十年代末期都自成规模,日本1965年年产黑白显象管450万只,法国也达到100万只以上。在这阶段,世界各国电子管发展的特点是:

(1) 系列化

随着电子管的大量应用和制管工艺的不断突破,到1965年,大部分电子管实现了系列化,例如金属陶瓷管,是1941年德国发明的,由于它具有高频大功率、高可靠性和高效率的特点,所以它的发明和发展不仅促进了当时雷达和通讯技术的发展,而且还推动了电子管技术本身的发展。美国是在第二次世界大战后获得了金属陶瓷管的资料,于1953年前后开始金属陶瓷管实用化的研究,到1954年就大量生产;近一、二十年以来,由于金属陶瓷管工艺的不断突破,如采用钍钨阴极、电火花加工电极、同轴状引出线结构、蒸发冷却技术、无氧铜阳极材料、镀铂栅丝等新技术、新材料,从而大大提高了金属陶瓷管的性能;到六十年代中期,在主要资本主义国家内,它的研制和生产基本定型,最近几年也没有什么太大的进展。从五十年代初到六十年代中期的十多年内,金属陶瓷管已发展成许多品种系列,主要品种系列有:用于无线电广播的大功率或超高功率的中、高频大型金属陶瓷管;用于电视广播的甚高频、特高频大功率金属陶瓷管;用于通讯、转发器、相控阵雷达、工业加热等的高频、甚高频功率金属陶瓷管等,这些器件都已实现系列化。在微波电子管方面,据统计到1965年主要资本主义国家已定型的器件共有4,257个型号(不包括超高频三、四极管和天线开关管),基本上配套成系列。

(2) 微波电子管获得迅速发展

微波电子管最初的发展主要集中在提高功率、效率、增益、带宽和降低放大器的噪声系数方面。五十年代由于卫星、导弹的发展,促使微波电子管朝高可靠、长寿命、体积小和重量轻等方面发展,而由于新型雷达体制的出现又引起人们对微波电子管的频率、相位稳定性、功率放大管与振荡管的噪声等问题的注意。六十年代随着相控阵雷达进入实用阶段,又对

微波电子管提出了便于大量生产、成本低、管子性能一致性等要求。因此在 1950~1965 年,国外微波电子管获得了迅速发展。就主要资本主义国家来看,美国 1965 年主要微波管(包括速调管、磁控管、行波管、返波管)的产值要比 1955 年的产值几乎增长了一倍。在管种方面,这十五年也获得了很大发展,其中发展得最为迅速的是:用于雷达的具有输出功率高、增益高、频率稳定的大功率速调管;用于干扰雷达、宽频带通讯、通讯卫星地面站和电子对抗的、具有频带宽、高增益、频率稳定等优点的大功率行波管;用于雷达站、雷达系统及一些特殊场合,具有大功率、高效率、低电压、小尺寸、轻重量、低成本、高相位稳定度等优点的正交场器件;用于导弹、卫星通讯和电子对抗中作为功率放大和大功率管推动级,具有宽频带、高增益、高可靠、轻重量、低噪声的中、小功率行波管;用于超远程相控阵雷达、人造卫星、中继通讯和宇宙飞船控制系统的长寿命微波电子管等等。微波电子管在这十五年的迅速发展是以研制工艺技术的不断完善和日趋成熟为基础的,工艺技术的每一突破对微波电子管的发展都起着重大的促进作用,如在阴极方面,为了进一步提高和改进微波管的性能,要求研制各种新型或改进型阴极,象近年来国外研究较多的是大电流密度阴极、冷阴极、低噪声阴极和长寿命阴极,特别是冷阴极近年来获得较大的进展,这对于延长微波管的寿命起了十分重大的作用,尤其是用于正交场放大器方面。由此可知,国外微波电子管的迅速发展是伴随着工艺技术的不断进展而获得的。

(3) 电子束管仍保持着相当重要的地位

电子束管是电子管的一个重要组成部分,而且是一种应用很广的电子器件,虽然这种器件出现较早,但在 1950~1965 年这十五年期间仍保持着相当重要的地位。就拿平时人们所熟悉的电视显象管来说,美国 1964 年黑白显象管的产量要比 1951 年将近增长了一倍,彩色显象管增长比例则更大,美国 1966 年的产量约为 1959 年的四倍,由此可见电子束管在这十五年中的发展还是相当快的。电子束管之所以能保持这样重要的地位,主要在于它是一种应用很广的电子器件,国民经济、军事上的大量应用加强了它的地位。我们最常见的是应用在电视工业中的摄像管和显象管,用于科学研究和生产活动中作为观察和精密测量用的示波管,用于雷达设备中的雷达显示器等等。最近,电子束管还在航空电子设备、工业自动化控制系统、医学电子学以及电子计算机输出设备中都得到大量应用,另外在军事指挥系统、传真系统和电视电话中也有广泛应用,因此尽管电子束管出现得较早,但在这十五年中,电子束管仍获得迅速发展,再加上电子束管是采用电子束扫描轰击荧光屏发光,具有偏转激励方便、光输出量大等优点,因此电子束管虽然也受到固体器件的挑战,但仍保持着相当重要的地位。

3. 同半导体器件并行发展、互为补充阶段(1965~)

近年来随着半导体器件工艺技术的迅速发展,半导体器件已在部分领域内取代了电子管,特别是微波领域的半导体器件(如肖特基势垒二极管、PIN 二极管、变容二极管、阶跃恢复二极管、隧道二极管、微波晶体管、雪崩二极管、耿氏二极管、限累管等)出现后,更使人们考虑到电子管的发展前途怎样?综合近年来国外电子器件的发展,不难看到电子管器件正处于同半导体器件并行发展、互为补充阶段。

从产量产值来看,虽然近年来国外半导体器件的产量和产值增长十分迅速。如日本 1970 年半导体器件产值为 1,766 亿日元,比 1965 年的 504 亿日元增长 3.5 倍,增长速度是

极为迅速的,但就产值与电子管器件相比,仍低于电子管器件,1970 年日本电子管的产值达 1,870 亿日元,比 1968 年产值增长了将近 1.6 倍,所以,以近年来电子管和半导体器件产量和产值的增长速度来看,正在并行向前。

从器件应用范围来看,在收讯器件方面由半导体取代电子管已日趋明显,而在微波领域,电子管同半导体竞争主要在两个方面:一方面是作为放大或振荡用的低功率源;另一方面是作为低噪声接收放大器。从功率源角度看,半导体器件由于受到频率和阻抗的限制,因此耗散功率小,而微波电子管极大地超过了半导体,一般要超过三个数量级以上,所以对于高频、大功率要求来看,目前半导体是无法同电子管相竞争,可以这样认为大约在频率高于 50 千兆赫、功率大于 1 瓦时,电子管占明显优势,而在这个界限以下,电子管与半导体则处于相竞争的地位(如图 2 所示)。一般认为固态信号源具有所需电压低,同时可以改进它的频率稳定性和噪声特性,但达不到反射速调管或分布作用返波管那样低的调频噪声水平;在可靠性方面,由于电子管的结构牢固、导热性能好、耐辐射性能随温度变化较小,所以一般要比半导体器件可靠得多;而在低噪声方面,低噪声电子管和低噪声半导体器件各有优缺点,预计在相当长的时间内,同时并存,并不断改进,提高其适用于不同要求的性能。

从新器件的研制情况看,近年来国外已出现了把电子管和半导体相结合起来的器件,人们把它称谓电子注半导体器件,它是在一个管壳里装有电子枪、调制系统、半导体靶和输出耦合网络,这类器件可以发展成为一种新型宽频带、大功率线性射频和视频器件,应用于雷达、电子对抗、飞机防撞和应答系统中,以代替行波管和平面型真空管,这是一种值得注意的新型器件。

另外,从器件制造工艺来看,也是相互渗透的,如光刻、镀膜等都是电子管和半导体器件共用的新工艺。综上所述,随着器件的设计、工艺、技术的发展,电子管必将在相当长的一段时间里与半导体器件并行发展、各自发挥自己的特长、相互补充。

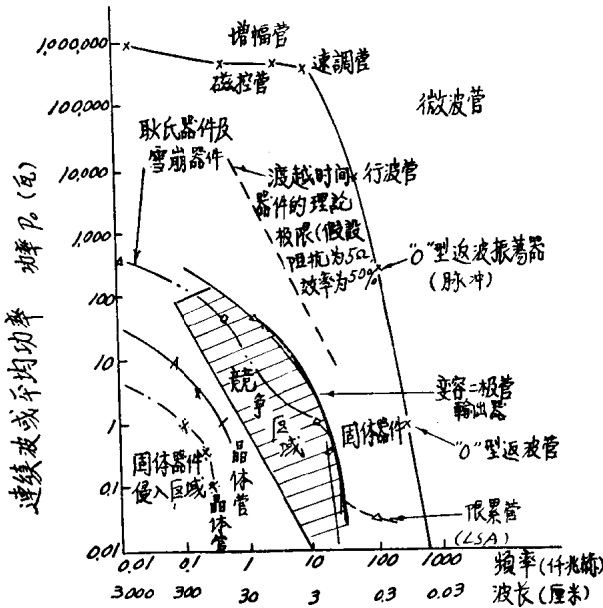


图2 微波电子管和半导体器件的竞争图

二、技术经济概况

电子管工业,在资本主义国家中,主要集中在美国、日本、英国、法国和西德。其中,美国的电子管工业生产规模最大,1971 年电子管的总销售额达 10.55 亿美元,差不多等于其余四个国家的总和。从电子管的产值增长率来看,日本最高,在 1966 年到 1970 年的几年中,逐年增长率都在 30% 以上。

美国的电子管工业,在五十年代到六十年代中期,年增长率仅在 2~3% 左右,有些年份

还有所下降。到 1965 年由于美帝疯狂扩军备战,大量的军事设备的订货,使电子管生产急剧上升。1965 年电子管总销售额比 1964 年增加了 19.9%,1966 年竟达到了 31%。特别是近年,微波领域中的电子管更成为美帝军用电子设备中的主要器件。据报道,目前大约有 85% 的微波电子管用于军事设备。整个微波电子管中有 30% 用于电子战(这类应用以行波管为主);其次是地面基地雷达;第三项是航空电子设备(这二项都以正交场器件和速调管为主)。微波的其他应用有通讯、线性加速器、信号源,工业加热设备等,但是,不管这些非军事性的应用如何增长,军用市场仍占很大比例。国外报道,估计在今后的几年中,军用微波电子管的销售额仍占总额的 75~80%。当前正在研究中的直接为其侵略目的服务的几个项目,如 B-52 型轰炸机机载雷达, F-14、F-15 战斗机, B-1 战略轰炸机,地对空导弹系统,都需要采用大量的微波电子管。在 1970 年以前的几年中,微波电子管的增长稳定在 10% 以上。1970 年,这个趋势反过来了,约下降了 10% 强,其主要原因是美帝穷兵黩武,经济危机,减少了国防开支,各类器件的生产能力分别“过剩” 10~50%。1971 年,美国的微波管市场销售了 5.4 亿美元,占整个电子管的 1/6 左右。在各类管子中,最多的是行波管,约占 40%,最少的是返波管,约占 8%,其余部分主要是速调管和正交场放大器(包括磁控管),二者所占比例基本相同。目前,五角大楼对行波管和正交场放大器寄予很大希望。在 1973 年美国的财政年度计划中,就明确规定要对这两种管子加强研究。如休斯飞机公司一家,花在研制行波管工作方面的投资,每年达 6 千万美元。在过去的三年中,美国为发展双模正交场放大器投资达 1,600 万美元。

1971 年,美国销售了 2.23 亿个收讯电子管, 385 万个黑白电视显象管, 687 万个彩色电视显象管, 624 万个功率和特种电子管。美国的电子管工业虽然很庞大,但近几年,美帝在越南战场上的失败,经济危机连绵不断,已开始走下坡路。1970 年的销售额比 1969 年下降了 14.3%, 1971 年也下降了 3% 左右。由于财政枯竭,所报道的政府购买的电子管都下降了不少,收讯电子管在 1970 年中比 1969 年减少达 40% 以上,微波电子管,如速调管、行波管、磁控管、正交场放大管,也都下降了 10% 以上,估计 1971 年下降约在 10~15%。因此,美国的电子管工业正面临着不可克服的困难。

靠掠夺海外市场,争取暴利的日本电子管工业,近年,乘美国发展军用和空间用电子管产品之隙,拚命生产民用电子管。所以,日本的电子管工业,从 1966 年到 1970 年,发展很快。1969 年比 1968 年的产值增加了 46.8%,在这年中以彩色和黑白电视显象管为主的阴极射线管产值最高,要占整个电子管产值的 70% 左右,此外,用于台式电子计算机的气体放电管也有较快的增长。1971 年,日本生产了 1.31 亿个收讯管, 79.6 万个高可靠和通讯管, 35.8 万个微波管, 700 万个黑白电视显象管, 770 万个彩色电视显象管;总产值达 1,803 亿日元。

日本的电子管工业的销售由于过分依赖出口,因而受到竞争日益加剧的国际市场的严重影响。据报道,1970 年出口到美国的彩色电视机达 120 万架(比 1967 年的 30 万架增加了三倍),使美国感到威胁很大,于是,采取了对日本彩色电视机的进口加以限制。这一措施,对日本的打击很大,大量的彩色电视机存入仓库,出口一下子就减少了 41.6%,生产也受到了影响。因此,日本电子管工业最近已减缓了步伐,以前几年的年增长率 30% 降低到 1970 年仅增加 6.5%,而 1971 年比 1970 年减少了 10% 左右。目前的日本电子管工业正在千方百计寻找市场,打开销路。

由于半导体工业的急速发展,对电子管产生了一定的影响。可以看到的是,过去许多只能用电子管解决的问题,目前已能用半导体予以取代。收音管是一个最明显的例子。收音管主要是用在收音机、电视机、通讯机等小功率、低频率的电子设备中,在这些设备中,晶体管、固体电路不仅在功率、频率方面已能胜任,而且体积小、功耗小,因此,它能得到广泛的应用,从而也就压缩了收音管的市场。日本从1956年起,电子管式的收音机逐年下降,至今仅有一些技术要求较高的仍用电子管(到1968年为29万架)外,绝大多数已被半导体化。晶体管收音机1956年只有3.8万架,1968年达到了3千万架,是电子管式的一百倍。美国的收音管产量从1948年至1966年的近二十年中,一直保持在四亿个左右,从1967年开始,逐年下降,到1970年为2.30亿个,1971年为2.23亿个。这些减少据说是由于晶体管进入了电视机的原因所造成的。日本电视机的产量增加很快,但不见收音管的数量上升,1970年的电视机产量比1969年增加了20%,但收音管的产量却下降了17.8%,只有1.9亿个。

微波电子管也因为硅平面技术的发展,尤其是雪崩器件和体效应器件的出现,受到了影响。以相控阵雷达的应用为例,在L波段和L波段以下,固体驱动的高功率相控阵雷达已经能与电子管驱动的进行竞争。有人认为,中功率激励器、射频分频器、低功率射频相移器、低功率数字相移驱动器和驱动每个单元的射频功率放大器等,采用固体器件是经济的。对于系统只需要中功率输出的情况下,固体相控阵在全部频率上已能与电子管的相媲美。但是在L波段和C波段之间,电子管驱动的相控阵雷达仍保持最高功率。如在高功率射频发射机、高功率射频相移器、数字相移器、数字相移驱动器和匹配辐射单元用的驱动阵列,电子管均已发展到性能、价格和重量能配合战术应用的要求。且在相当宽的频率范围内能产生和控制可靠的功率输出。这是固体器件所不及的。除了相控阵雷达之外,其他的微波电子设备,如电子对抗、机载雷达中固体器件也仅部分地取代了电子管,而超远程警戒雷达、卫星地面站等需要大功率输出、宽的频带、低的噪声等场合,电子管仍是主要的角色。总的来说,在低频率、窄频带的中小功率应用方面,固体器件已能发挥作用,而高频、宽带、大功率,电子管有其独特的地位。因而,微波电子管的总的产量稍有下降也是难免的。美国1970年与1969年相比,速调管、磁控管、行波和返波管,都下降了10%,有人估计在今后的两三年中,还要减少3~5%左右。

电子管的另一个重要的领域——电子束管,如显象管、示波管、摄象管也面临着固体器件的挑战,但要取代电子管,离成熟和实用的程度尚远。目前能大量进入市场的仅是固体发光二极管,大多被用在台式电子计算机中。但价格与电子管相比还略高。如美国以生产固体元件著称的德克萨斯仪器公司生产的三种台式机中,有两种仍用电子管显示。另一种固体显示的台式机的价格要高出1/5左右。又如日本近年的作为台式机做显示的电子管产量成倍地增长。因此,固体器件要广泛与电子束管相竞争,还需一段较长的时间在技术上、生产成本上下功夫。

但是,不管固体器件如何发展,各国仍在继续发展电子管,虽然近年没有出现多少新管种,而开辟老管子新应用方面出现了不少的市场。如最近一段时间来,国外工业界认为需用磁控管作为高频加热元件的微波炉。至少在录象机兴旺之前,将会在市场上占很大的比重。日本在1966年开始把微波炉用于商业应用,到1967年由于磁控管的改进,已流入家庭用,产量达1.5万台,1968年增加到5万台,1969年为31.15万台,1970年为40.6万台,目前,为了满足微波炉的需要,单收集式磁控管制造商每月生产量接近了2万个。估计日本

1971年的产量达75万台。美国1970年微波炉销售了34.5万台。这样,由于受到速调管和正交场放大管排挤的磁控管在工业、民用应用领域中找到了新的市场。

电子管除了在军用领域外,工业电子设备也有着较大的潜在应用。工业电子设备有两个最重要的类别,电子计算机通讯设备和无线电应用设备,后者包括电话、电报、广播无线电通讯设备等。在这些设备中除了微波电子管仍是主要的发射和接收元件之外,电子束管也将被广泛地使用。如电子束管用在传真设备中,可以获得高速和高质量的传真;用于数字通讯的终端设备中,能获得比电传真打字机优越的性能。需要采用电视摄像管和显象管的电视电话也将会被普遍使用,美国预计到1980年装置100万台。此外,计算机的应用中为更直观和快速等性能的提高,也将采用电子束管作为终端显示装置。据报道,目前世界上已有13万台电子束管终端显示,据称到1980年,美国用于终端显示的电子束管预计将超过70万个,西欧和其他资本主义国家也将达到14万个。

表2 日本电子管生产情况

产 量、 产 值 种 类		1968 年			1969 年			1970 年			1971 年		
		产 量 ⁽¹⁾	产 值 ⁽²⁾	1968/ 1967 ⁽³⁾	产 量	产 值	1969/ 1968	产 量	产 值	1970/ 1969	产 量	产 值	1971/ 1970
收 讯 管		226,401	25,822	107.1	254,821	28,674	111.0	193,460	23,730	82.8	131,313	17,732	74.7
高可靠与 通 讯 管		1,167,545	652	80.9	1,188,922	677	103.8	1,107,452	791	116.8	796,338	593	76.9
发 射 管		167,958	1,921	110.3	177,905	2,579	134.3	176,266	2,758	106.9	183,574	2,154	
微 波 管	速调管	12,969			15,492			22,179			15,769		
	磁控管	85,899			405,866			608,030			316,241		
	转换 放电管	19,074			19,372			20,111			20,632		
	行波管	4,018			4,011			5,165			5,247		
	其他	1,476			1,387			0			6		
	合计	123,436	5,041	145.5	446,129	9,032	179.2	655,485	10,472	115.9	357,895	7,218	68.9
整 流 管		121,858	1,016	113.3	134,973	961	94.6	181,347	1,200	124.9	127,047	691	57.6
阴 极 射 线 管	黑白 电视用	7,182,899			9,538,548			7,895,475			7,003,850		
	彩色 电视用	3,172,148			5,536,173			6,866,019			7,704,890		
	测量用	116,706			148,096			144,621			126,556		
	合计	10,471,753	78,436	142.4	15,222,817	122,517	156.2	14,906,115	131,992	107.3	14,835,296	138,732	105.1
放 电 管		2,574,575	2,308	178.2	7,904,502	4,812	208.5	18,411,533	8,782	182.5	18,930,507	5,268	60.0
X射线管		19,655	1,047	92.7	24,149	1,444	137.9	30,630	1,963	135.9	28,188	1,863	105.7
摄 象 管		64,048			115,730			166,410			179,406		
其 他		422,589			380,752			423,162			403,786		
合 计			119,366	130.8		175,246	146.8		187,050	106.5		180,298	90.5

注: 1. 收讯管单位: 千只, 其他均为只。

2. 单位: 百万日元。

3. 指产值比。

航空电子设备、雷达信标和距离测定设备也广泛地使用电子管。例如，美国国内的空中航线目前已有3,500余条，由于交通拥挤，就计划采用电子控制飞机着落、导航，以避免发生事故。据说，如果空中交通管制系统的计划付诸实现的话，则需要大量的微波电子管，1970年美国销售了1.8万个空中交通管制用的信标和7.5千个距离测定设备。在空交通管制设备中的应答器采用的典型器件是宽频带、双调谐空腔的平面三极管。输出电子管要求板极脉冲达2千伏。作为雷达信标的器件，磁控管也会被认为是一种比较适用的电子管。

目前，金属非破坏性测试广泛地采用了超声波技术，但在塑料、橡胶等非金属材料中，超声的衰减很严重，因此超声波技术并不适用。但微波能有效地用来找出塑料和其他非金属材料的斑点。因此，国外正在探讨塑料等的非破坏性测试设备中采用微波能量。看来，由于塑料工业的发展，这一市场也是较大的。

总之，工业用电子设备中采用电子管的潜力是很大的，随着电子管制造工艺的改进、价格的降低，将会得到越来越广泛的应用。

表3 美国电子管销售额(百万美元)

年 份		1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
电 子 管	收 讯 管	342	369	332	311	302	297	272	282	301	210	196	284	254	261
	功率、特种管	215	242	252	285	314	294	260	269	321	373	387	381	335	260
	电视显象管	164	184	205	221	254	277	360	511	775	779	686	597	493	533
	合 计	721	795	789	817	870	868	892	1,062	1,397	1,362	1,269	1,262	1,082	1,054

表4 美国功率管和特种电子管销售量和销售额

年份	高真空管		充 气 管 汽 相 管		速 调 管		磁 控 管		行 波 管 返 波 管		光 敏 管 光致发射管		其他特种管		总 计	
	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额
1960	348	5,800	230	2,200	15.7	5,000	7.8	4,400	1.2	2,200	138	3,000	365	2,200	1,106	24,800
1961	375	6,300	176	3,000	18.25	5,300	6.85	3,500	2.24	4,500	170	3,900	35	1,300	784	27,800
1962	410	7,500	191	3,200	18.31	6,300	7.09	3,900	3.31	5,000	208	4,200	46	1,700	885	31,800
1963	421	6,300	161	2,700	14.71	5,200	6.53	3,900	2.84	5,200	258	4,100	66	2,000	932	29,400
1964	375	5,400	138	2,600	14.36	4,300	6.32	3,200	2.24	3,800	238	3,700	209	3,000	986	26,000
1965	395	5,800	165	2,600	18.28	3,600	8.14	4,100	2.56	3,700	296	4,200	423	2,900	1,309	26,900
1966	434	6,800	152	2,800	19.83	4,600	9.94	4,400	3.18	3,900	210	6,100	714	3,500	1,554	32,100
1967	448	6,800	150	2,800	19.72	4,400	9.78	4,700	4.56	6,300	227	9,700	673	2,600	1,535	37,300
1968	450	6,600	115	2,900	17.04	4,200	9.25	4,000	5.30	8,100	250	12,300	480	2,200	1,190	40,300
1969	329	6,500	116	2,700	15.38	3,900	11.25	4,200	4.65	8,200	224	11,300	492	2,100	1,171	38,900
1970		5,700		2,300		3,500		3,800		7,100		9,100		2,000		33,500

单位: 千只, 千美元