

电 子 元 件
国外资料之二

国外电容器发展概况

(内 部 资 料)

电子元件国外资料编辑组

一九七三年十二月

出 版

遵照伟大领袖毛主席关于“外国一切
要吸收过来，为我所用”和“批判地吸收外国
各部门的大力支持下，收集并编写了这套介绍国外
平和发展动向的资料，供有关方面分析参考。

这套资料按专业共分电阻器、电容器、厚膜薄膜集成电
子陶瓷材料与器件、压电材料与器件、磁性材料与器件、继电器
斩波器、接插件、开关、电声器件、石英谐振器及其器件、电表、
微电机、化学电源与物理电源、电线电缆等十六个分册。

对其中错误与不当之处，请批评指正。

编 者

一九七三年十二月

目 录

一、概述	(1)
1.1. 国外电容器发展简况	(1)
1.1.1. 国外电容器生产发展概况	(1)
1.1.2. 国外电容器研究试制重点	(10)
1.2. 集成电路对分立电容器的影响	(11)
1.3. 电容器的可靠性	(14)
1.3.1. 电容器的选择	(14)
1.3.2. 海底电缆对电容器可靠性要求	(15)
1.3.3. 国外电容器的故障率	(15)
1.3.4. 电容器故障机理	(18)
二、电解电容器	(21)
2.1. 当前电解电容器的水平	(21)
2.2. 近年技术动向与发展趋势	(37)
2.2.1. 铝电解电容器	(38)
2.2.2. 钽电解电容器	(39)
2.3. 铝电解电容器	(40)
2.3.1. 通用铝电解电容器	(40)
2.3.2. 高可靠、长寿命、宽温度铝电解电容器	(44)
2.3.3. 计算机级大容量铝电解电容器	(47)
2.3.4. 固体铝电解电容器	(51)
2.3.5. 特殊用途铝电解电容器	(53)
2.4. 钽电解电容器	(54)
2.4.1. 液体钽电解电容器	(54)
2.4.2. 固体烧结钽电解电容器	(56)
2.4.3. 固体烧结钽电解电容器的可靠性问题	(59)
2.5. 其它电解电容器	(61)
2.5.1. 各种合金电解电容器	(61)
2.5.2. 双电层效应电解电容器	(61)
三、有机介质电容器	(62)
3.1. 国外有机介质电容器概况	(62)
3.2. 近年来技术动向及发展趋势	(67)
3.2.1. 薄膜材料和成膜技术	(67)
3.2.2. 理论研究和电容器结构、工艺的发展	(70)

3.2.3.发展趋势	(72)
3.3.纸介电容器和金属化纸介电容器以及纸膜复合介质电容器	(73)
3.3.1.纸介电容器和纸膜复合介质电容器	(74)
3.3.2.金属化纸介电容器和金属化纸膜电容器	(75)
3.4.各种有机薄膜电容器及金属化有机薄膜电容器	(76)
3.4.1.聚苯乙烯电容器	(76)
3.4.2.聚酯薄膜电容器	(78)
3.4.3.聚碳酸酯电容器	(79)
3.4.4.漆膜电容器	(80)
3.4.5.聚丙烯电容器	(81)
3.4.6.聚四氟乙烯电容器	(82)
3.4.7.聚矾电容器	(83)
3.4.8.其它有机薄膜电容器	(83)
3.5.有机薄膜复合介质电容器	(84)
3.6.有机薄膜及陶瓷混合电容器——填料聚合膜电容器	(84)
四、云母电容器	(85)
4.1.国外云母材料	(85)
4.2.国外云母电容器	(87)
五、可变电容器	(94)
5.1.概述	(94)
5.2.空气可变电容器	(95)
5.3.固体介质可变电容器	(97)
5.3.1.有机介质可变电容器	(97)
5.3.2.无机介质可变电容器	(100)
六、其它电容器	(106)
6.1.改良型电容器	(106)
6.2.负电容器	(108)
参考文献	(110)

国外电容器发展概况

一、概 述

1.1 国外电容器发展简况

1.1.1 国外电容器生产发展概况

第二次世界大战以后, 电容器工业得到了迅速的发展, 美国的电容器产值由1945年的1.04亿美元增加到1971年的4.34亿美元, 二十六年内增加了3.18倍, 预计1975年电容器总产值将达5.23亿美元; 产量在1961~1971年的十年期间, 增加了一倍多, 由1961年的15.02亿个增加到1971年的30.84亿个^{(1)~(4)}。

日本的电容器产量在最近十年内增加了9.58倍, 由1962年的14.28亿个发展到1972年的136.83亿个, 月产量达12亿多个, 价值3490万美元。许多电容器制造厂准备继续扩大生产, 估计1973年日本电容器产量达153.10亿个, 产值达1393.32亿日元, 较1972年分别增加12.3%和12.6%^{(5)~(7)}。

虽然在最近十年内, 电容器的产量在迅速增加, 但是在资本主义的社会制度下, 各垄断资本集团为了追求高额利润, 盲目生产, 各垄断集团之间又互相竞争, 互相倾轧, 因此电容器制造业又陷于一片混乱之中, 特别是膜电容器制造业, 美国AVX Aerovox公司由于无利可图, 放弃了云母和塑料膜电容器的生产, 同时通用仪器公司和Erie公司也停止了膜电容器的生产, 而San Fernando电气公司又根据市场动态, 迅速发展聚矾和聚丙烯电容器的生产能力。Waters⁽⁸⁾预言: “由于斯帕勒格(Sprague)公司提高了膜的制造能力, 致使许多其他公司无利可图, 因此膜电容器制造业将有更大的变化。”

表1-1~1-3列出了美、日、西德等国电容器的生产情况^{(9)~(17)}。

为适应电路的日益晶体管化和集成化, 战后二十多年中, 电容器领域已发生了很大的变化。

首先, 在有机薄膜电容器方面, 随着高分子合成化学工业的发展, 出现了用聚苯乙烯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚乙烯、聚四氟乙烯、聚丙烯等作介质的有机薄膜电容器。近几年来又出现了聚酰亚胺、聚对二甲苯、聚矾等有机薄膜电容器。且制得了商品化的极薄的电容器薄膜, 例如厚度达 2.5μ 的聚对苯二甲酸乙二醇酯膜, 厚度达 2μ 的聚碳酸酯膜和聚矾膜。由于这些薄膜在介质性能和电容器制造工艺方面较过去广泛使用的电容器纸优良和简单, 因而部份代替了纸电容器。近几年来, 由于材料制造技术的改进, 薄膜电容器发展很快, 日本以聚对苯二甲酸乙二醇酯为主要介质的薄膜电容器月产量超过1亿只, 产值达11亿日元。

表1-1 美国各种电容器产量

(1958—1971)

单位: 百万只

年份	纸介电容器	薄膜介质电容器	组合介质电容器	金属化纸膜电容器	铝电解电容器	钽电解电容器	云母介质电容器	瓷介、玻璃、玻璃釉介电容器	可变电容器	总计
1958	237.98	21.36	—	9.19	70.30	9.01	95.62	363.45	—	847.69
1959	279.77	44.72	—	6.20	104.81		143.11	622.59	—	1252.40
1960	239.47	72.21	—	10.68	116.46		134.34	652.75	57.04	1282.98
1961	223.33	98.03	78.74		108.59	38.48	129.55	763.59	61.40	1501.85
1962	205.59	118.54	42.65	90.66	127.27	48.09	195.09	869.83	68.70	1766.46
1963	165.99	156.70	62.09	91.83	152.61	48.63	171.62	970.04	63.76	1883.30
1964	176.00	193.43	71.25	105.27	175.92	56.16	185.00	1104.60	70.12	2137.79
1965	207.39	287.49	73.49	88.35	210.00	99.37	196.46	1447.93	—	2701.08
1966	243.44	354.10	93.42	96.70	237.24	170.03	241.91	1764.46	100.24	3301.56
1967	158.82	272.68	60.36	89.31	178.88	152.17	181.57	1222.87	82.74	2399.43
1968	148.10	290.65	50.52	96.93	188.24	172.34	266.27	1430.63	81.12	2724.84
1969	146.59	337.43	43.81	118.78	187.01	274.33	273.35	1509.98	74.37	2965.69
1970	111.33	240.87	28.23	131.46	142.52	274.79	146.09	1134.60	77.95	2287.82
1971		596.7			207.9	272.4	172.9	1757.3	55.0	3083.7*

*包括4850万只其他固定电容器

表1-2 日本电容器产量

(单位: 万只)

	1966 ⁽¹³⁾	1967 ⁽¹³⁾	1968 ⁽¹⁴⁾	1969 ⁽¹⁴⁾	1970 ⁽¹⁵⁾	1971 ⁽¹⁵⁾	1972 ⁽⁶⁾	1973 ⁽⁷⁾ (预计)
可变电容器	0.83	0.70	0.63	1.01	0.93	0.98	1.26	1.34
固定电容器	38.31	49.37	61.16	96.71	105.34	104.24	135.57	151.76
纸介电容器	1.87	2.14	1.86	2.09	1.89	1.39	1.10	0.97
铝电解电容器	7.90	10.89	12.58	18.73	21.84	23.10	31.21	34.80
钽电解电容器	0.084	0.11	0.18	0.32	0.50	0.51	0.93	1.28
陶瓷电容器	23.01	28.49	37.47	61.67	63.57	61.43	77.45	86.40
金属化纸电容器	0.30	0.72	0.50	0.80	0.83	0.83	1.03	1.18
有机薄膜电容器	2.90	5.14	6.48	10.60	14.55	14.72	20.69	23.60
其它电容器	2.25	1.90	2.09	2.49	2.17	2.26	3.16	3.16
总计	39.14	50.07	61.76	97.72	106.27	105.22	136.83	153.10

表1-3 西德电容器产值

单位：亿马克

	1969	1970	1971
电 解 电 容 器	2.94	3.51	2.78
纸和有机薄膜电容器	5.34	6.14	4.04
其他固定电容器	8.42	10.00	7.23
可变电容器（包括补偿电容器）	0.97	1.14	0.92
合 计	17.67	21.89	14.97

由于真空工业的极大发展，人们成功地在介质表面利用蒸法制得了极薄的金属层（ 50μ ，相当于箔的千分之一），代替了过去广泛使用的金属箔，促使金属化纸电容器的广泛使用，日本1964年金属化纸电容器生产了3千万只，1972年产量达1.03亿只。预计1973年产量将增加14.6%，达1.18亿只。而传统的纸介电容器的生产，无论是美国还是日本均在逐年减少。

由于这种电容器具有自愈作用，所以用单层纸就能作介质，使体积大幅度减小。利于这种真空蒸法形成的电极进一步推进了膜电容器的小型化。美国1966年金属化纸、膜电容器生产了9600万只，1972年增加到13150万只，五年中增加了36.5%，在同期电容器总量中的比例由2.93%增加到5.75%。

在电解电容器方面，由于当时得不到高纯度的铝箔，在制造工艺方面也尚欠成熟，尽管在当时电容器中是最小型的，但因漏电流大，可靠性差，所以使用范围只限于部分电源滤波。后来由于铝箔制造技术极大发展，制得了99.99%的高纯度铝箔，同时也提高了电容器的制造技术，改进了电解质。随着设备的进一步晶体管化，使输入阻抗降低，大大地增加了大容量电容器的需要，生产数量迅速增加。现在日本月产2.6亿只，价值超过38亿日元，占电容器总数的37%。

为了促进电容器小型化，并增加可靠性，出现了钽电解电容器。美国1970年钽电容器产量为2.75亿只，占电容器总数的12.0%，其中17.3%用于军事装备中。后来由于电解质固体化的发展，出现了固体钽电解电容器。据日本《电子材料》1970年4月号报导，日本固体钽电解电容器月产300万只，价值约5亿日元，占全部钽电解电容器的90%。美国固体钽电容器的产量1970年达2.62亿只，占全部钽电容器的95%以上。

陶瓷电容器是与设备半导体化同时发展的最快的一种电容器，无论在美国，还是在日本，均是电容器中生产最多的一种，其产量要占电容器总产量的一半，甚至一半以上。目前，日本月产6亿多只，价值22亿日元。

云母电容器是一种传统性产品，由于其良好的性能，至今仍在生产和使用，但由于天然云母资源的缺乏，所以出现了云母纸电容器。由于薄膜电容器的出现，特别是聚苯乙烯电容器具有优良的介质特性，所以有部份云母电容器被它代替。

美国可变电容器1966年产量达1.00亿只，以后基本上逐年下降。目前国外可变电容器的产品已系列化，并普遍采用各种固体材料作介质，如石英、玻璃、塑料薄膜等，同

时大量研制和生产起始容量小, 分辨率高的小型或超小型微调电容器, 以适应集成电路发展需要。

表1-4列出了各种主要电容器的当前水平〔18〕。

表1-4 A 各种电容器的容量范围

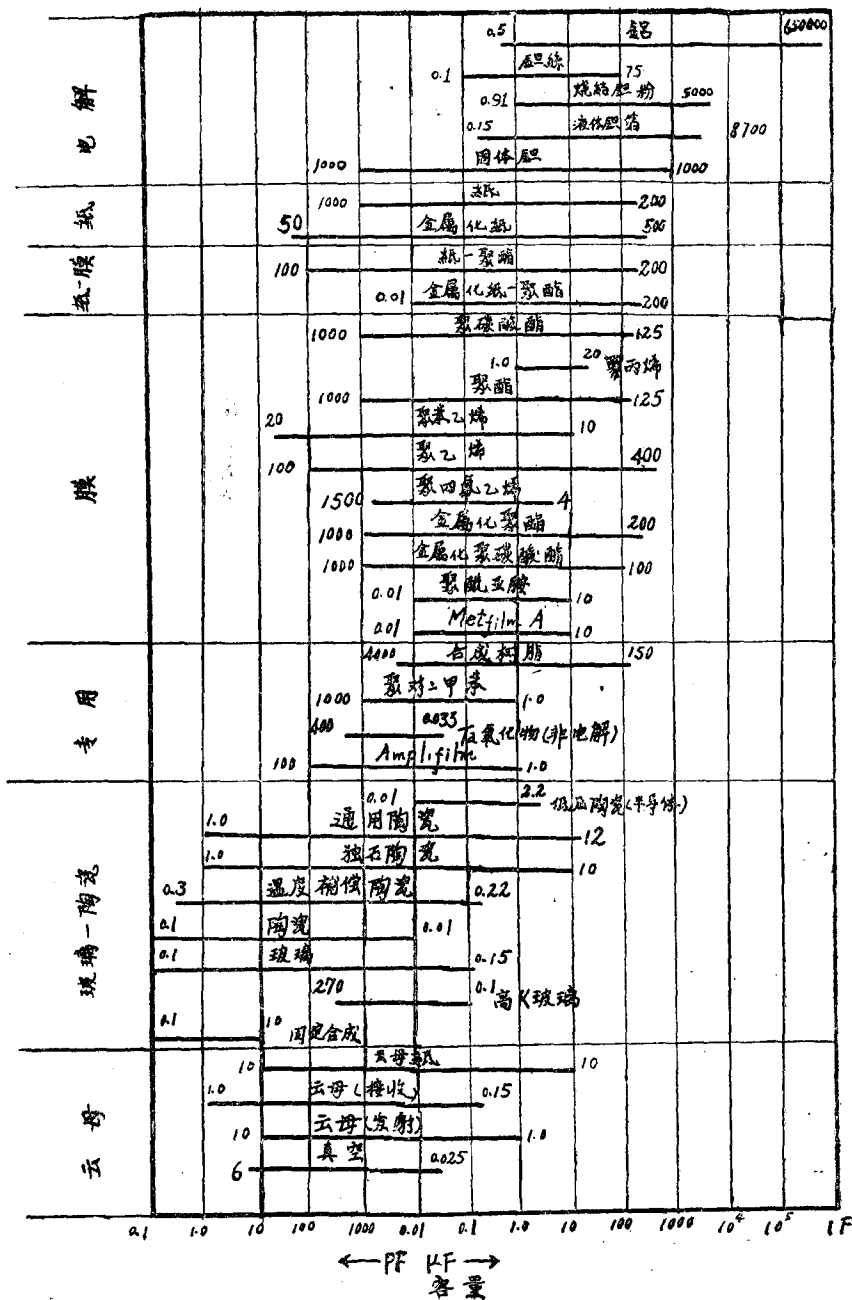


表1-4 B 各种电容器的容量效率

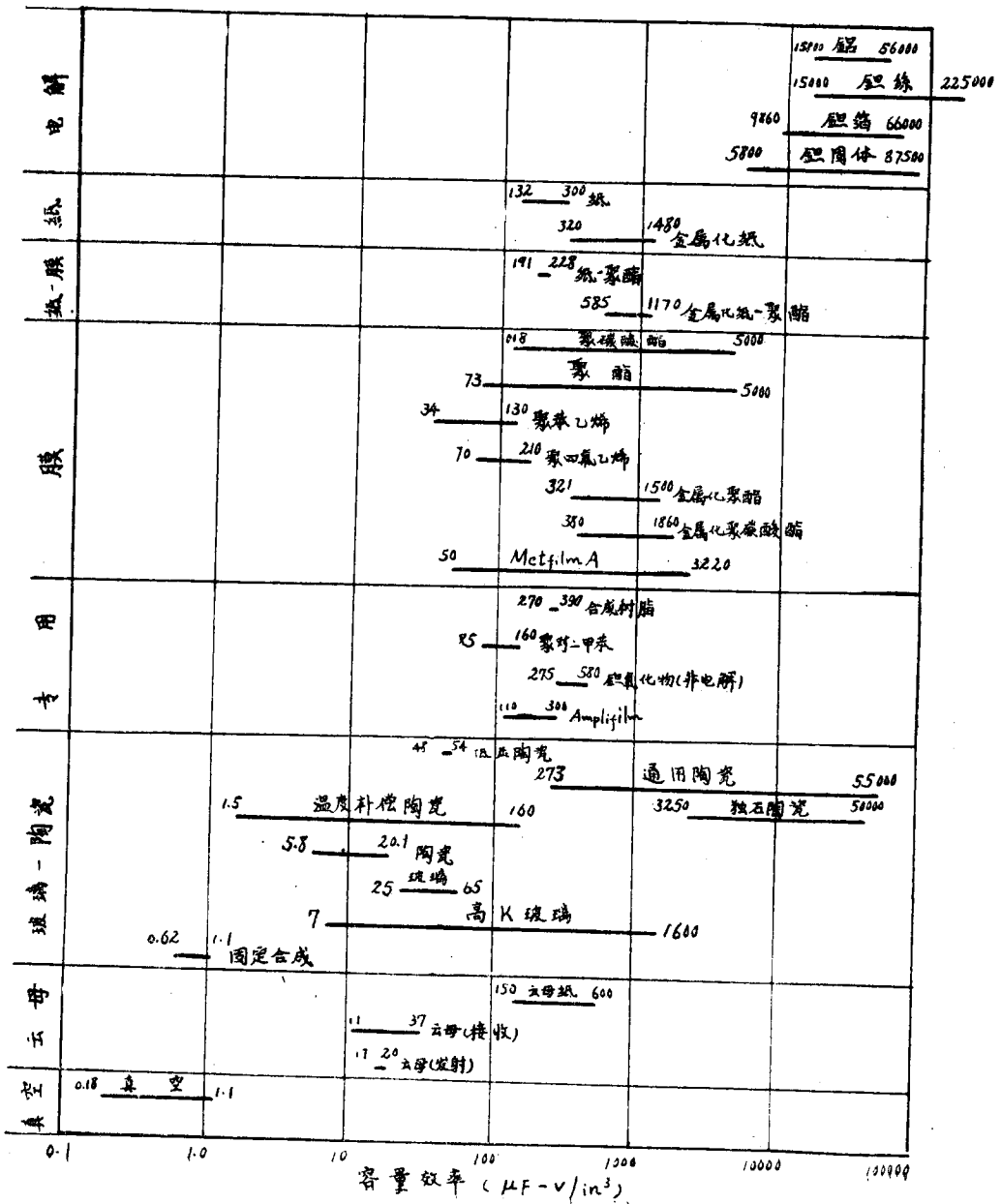


表1-4 C 各种电容器的工作电压

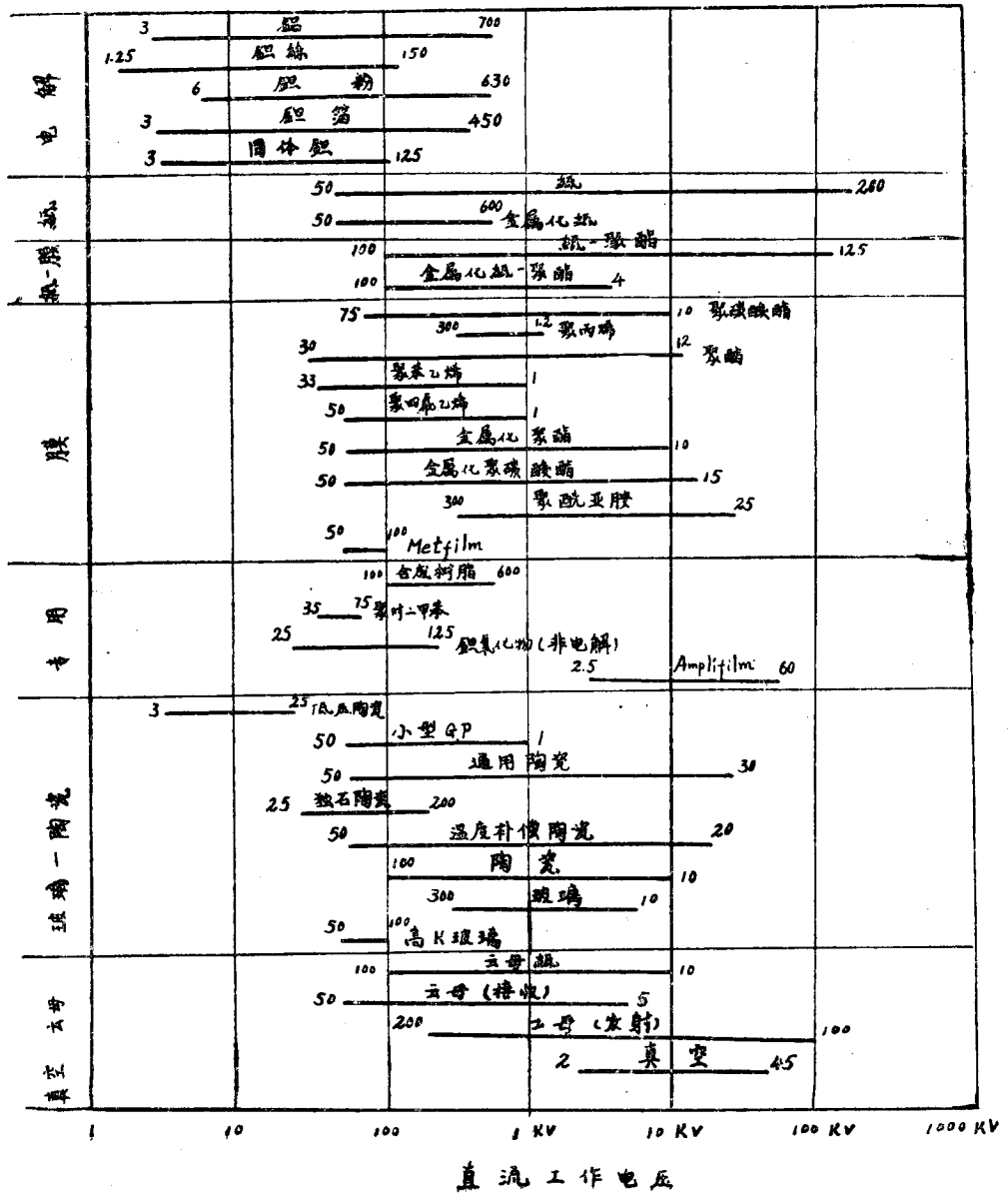


表1-4 D 各种电容器的工作温度

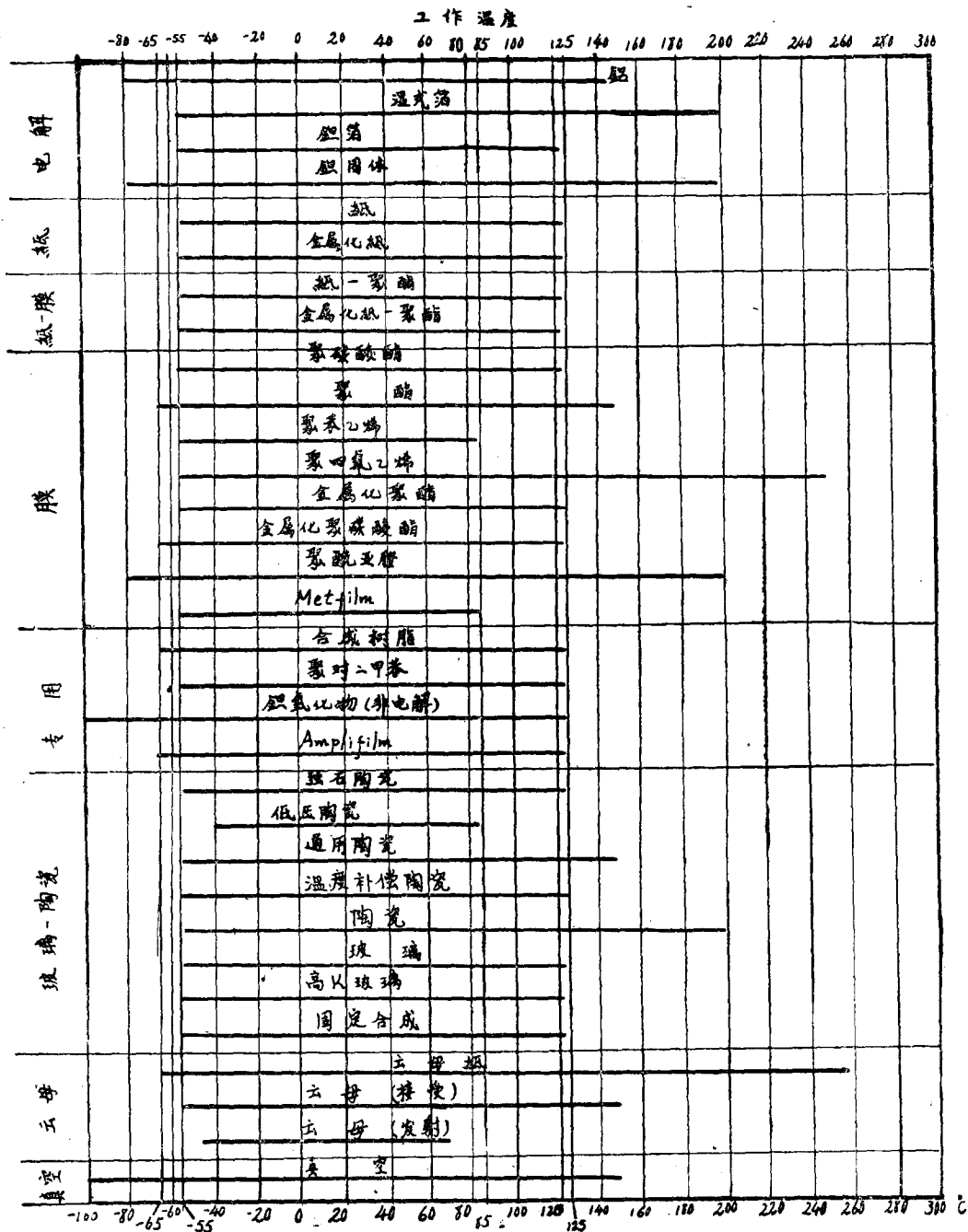


表1-4 E 各种电容器的损耗原因

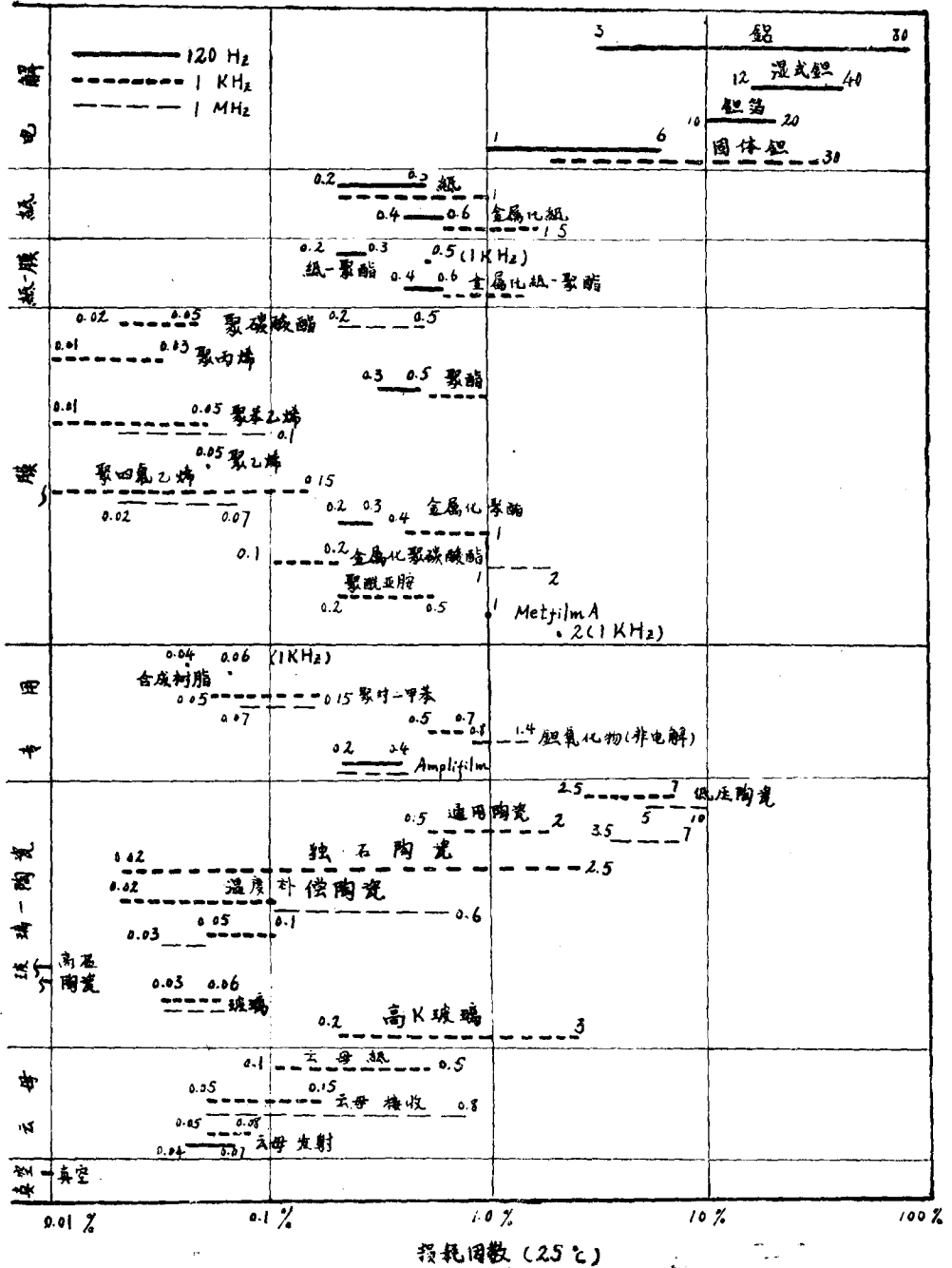
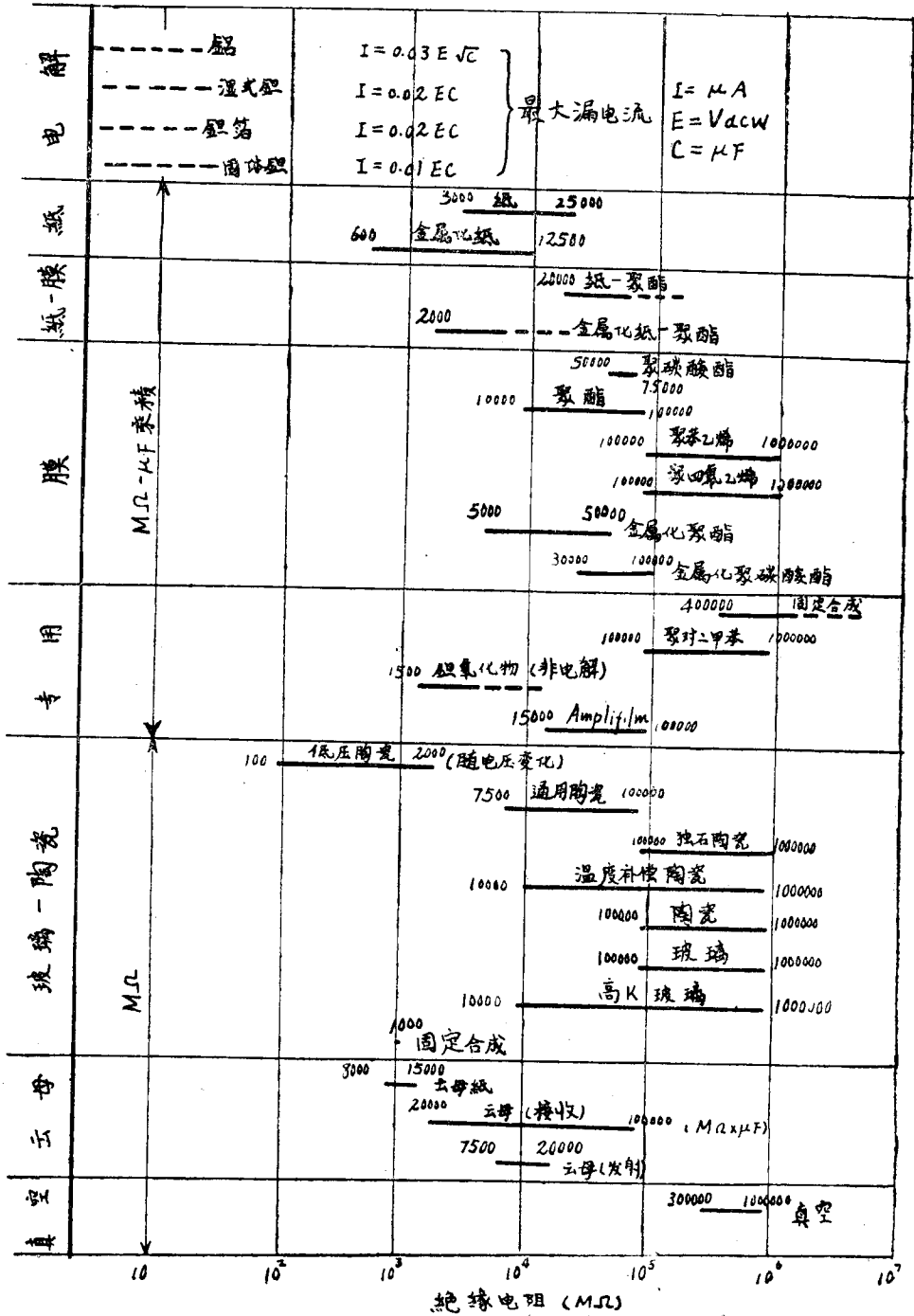


表1-4 F 各种电容器的绝缘电阻



这样，在战后二十多年中，电容器面貌虽为之一变，但在晶体管化和集成化日益发展的今天，急需电容器的小型化，因此需考虑集成电路对电容器要求。

电容器集成电路化由于电容量与电极面积成比例，所以电容器小型化很困难。表1-5示出了集成电路化电容器的现状^[19]，从中可知电容量范围极小，同时电容器允许误差、Q值等电性能受到限制，所以往往需要外贴电容器。

表1-5 集成电路化电容器各种性能比较

集成电路种类	静电容量	静电允许误差	Q	与电压关系
双极型集成电路	达到 25 pf	±20%	1~10	有
MOS集成电路 (半导体集成电路)				
金属陶瓷集成电路 (厚膜集成电路)	达到几千 pf	±15%	10~1000	无
钽薄膜集成电路 (薄膜集成电路)	达到几万 pf	±5%	10~500	无

数字电路虽然主要使用半导体集成电路，但因半导体集成电路的额定耗散功率有一定的限制，对噪声要求严格，电源要求稳定，所以往往需要滤波电容器，从它的特性来看，要求电解电容器进一步小型化。

对具有补偿机能的线性电路来说，只有用过去的分立电容器作旁路、耦合、去耦合；对具有运算机能的线性电路来说，则需要介质吸收小、精度高的电容器，所以要求聚苯乙烯电容器小型化。

对接装在集成电路内部的电容器来说，目前实际使用的有陶瓷和固体钽之类的片电容器。

1.1.2 国外电容器研究试制重点

目前，国外在电容器发展方面主要把重点放在研究介质材料和薄膜介质形成方法上面。

(1) 新介质材料的研究

作为新的塑料薄膜有美国杜邦公司研制的尼龙和聚酰亚胺，这二种材料，就高温特性来说，是非常优良的，但性能不如聚对苯二甲酸乙二醇酯。聚酰膜电容器现在进入了工业化生产阶段，但目前还在继续从事于改性研究，以得到性能更好的聚酰膜。

此外，聚二氰基乙烯和四氰基乙烯由于它们的介质常数较高，前者为13.5，后者高达100，有希望成为电容器介质。

新的玻璃系介质有碲系的BaO-TeO₂，ZrO-TeO₂，两者介质常数为20~25，介质损耗为0.2%左右，可作为今后玻璃电容器材料。

电解氧化型的电介质有HfO₂，TiO₂，Y₂O₅，WO₃，但不如Ta₂O₅，Al₂O₃好。在

钽和铝电解电容器方面,研究的重点主要放在缩小体积,提高可靠性,扩大使用温度范围,以及改进液体工作电解质电容器的密封。

与此同时,为提高电容器的性能,以及为适应电路晶体管化和集成化的要求,已将下列课题列为急待改进的项目^[20]:

- (1)小型化;
- (2)减小损耗;
- (3)在额定的容值范围下,减小老化,提高稳定性;
- (4)提高容量精度;
- (5)改进密封材料,降低成本。

1971~1975年期间,日本在电容器研制方面总共投资了3.2亿日元,被列入研制计划中的项目有^[21]:

(1)容量大于 $50\text{pf}/\text{mm}^3$ 的集成电路用的云母电容器,或容量大于 $1\mu\text{F}$ 的集成电路用的固体电解电容器。完成时间1975年,投资1亿日元。

(2)静电容量大于 $0.015\mu\text{F}/\text{cm}^2$ 或静电容量大于 $0.005\mu\text{F}/\text{cm}^2$,而损耗小于0.5%的薄膜电容器。完成时间1975年,投资1.2亿日元。

(3)使用电压大于125V,使用温度大于 125°C 的烧结固体钽电解电容器,或静电容量与额定电压乘积大于0.5%库仑的大容量铝烧结固体电解电容器,完成时间1975年,投资1亿日元。

六十年代以来,电容器仍在迅速发展,但是由于不同的电容器具有不同的特性以及不同的使用领域,因此发展是不平衡的。根据电容器的各自特性、使用领域以及集成电路的影响,日本春雄等预计日本今后电容器将发生如下变化^[22]:

在固定电容器方面,纸和薄膜之类的管状电容器,由于晶体管化和集成化,将减少很多。电解电容器中,由于低压设备的增加,钽电解电容器将被铝电解电容器所代替,而铝电解电容器由于数据通讯设备的增加而增加,陶瓷电容器将继续发展,金属化纸电容器与纸介电容器一样,由于集成化的影响,从长期来看,有减少趋势。

在可变电容器方面,由于可变电抗二极管的电子调谐设备的日益实用化,虽有一部份的市场将被它所侵占,但今后仍将进一步发展。

1.2 集成电路对分立电容器的影响

集成电路自1959年出现以后,已引起了电子工业的深刻变革,对传统的分立元件也产生了极大的影响,但是从目前的实际情况来看,其影响并不象集成电路出现时人们所想象的那么严重,然而元件需要量受到影响是肯定的。

表1-6, 1-7列出了美、日两国电子元件和器件的历年生产情况。

美国1960年开始生产商品性集成电路,1964年开始大量生产,当年产量达1亿2百万块,1970年生产了4亿9千万块,六年中产量增加了4.8倍。在此期间电容器产量并未减少,1970年产量比1964年增加了7%。无疑这一增长率比集成电路大量生产前的增长率要小许多,在集成电路大量生产前的六年中,增长了152%。

日本1963年从美国引进集成电路技术, 1966年开始大量生产, 年产量56万块, 1972年产量达20590万块, 在此期间, 电容器由39.14亿只增加到136.83亿只, 六年间电容器增加了2.5倍, 平均年增长率为22.8%, 在1960年到1966年期间, 即集成电路大量生产前的六年中, 电容器产量增加了3.15倍, 平均年增长率为30.4%, 因此, 日本电容器的产量虽在急剧增加, 但增长率是受集成电路影响的。

表1-6 美国电子元器件产量及其军品比例

(1958—1970)

单位: 万只

年份	电子管		半导体器件		电容器		电阻器		电感器		其它元件*		复合元件**	
	产量	军用%	产量	军用%	产量	军用%	产量	军用%	产量	军用%	产量	军用%	产量	军用%
1958	42862	—	12190	—	84771	—	150631	—	1670	—	9667	—	—	—
1959	46000	—	21300	—	125220	—	209500	—	2320	—	11210	—	—	—
1960	42242	6.2	32939	28.4	128298	10.6	207942	14.4	3451	20.0	13776	50.0	3761	1.8
1961	39924	6.9	50500	25.4	150185	9.9	253355	10.7	3321	20.0	15072	47.0	4509	7.8
1962	38926	8.6	68254	23.1	176646	9.9	296228	11.6	4437	16.7	22591	46.7	6180	7.0
1963	35253	7.0	92983	17.3	188330	3.8	313319	10.6	4072	17.0	20777	48.3	8721	3.0
1964	34834	6.0	113922	14.7	213777	6.4	351426	9.7	6042	9.9	21961	42.2	10204	5.1
1965	37530	8.5	170426	11.9	270108	6.5	464887	7.8	7763	6.9	25209	31.1	9538	8.0
1966	39874	6.3	239814	11.2	330156	8.1	554950	9.5	10503	9.8	33130	31.0	16508	10.2
1967	29927	7.0	225326	11.0	239943	8.2	439209	12.6	10489	8.9	38945	25.7	17882	16.1
1968	28307	4.9	257056	9.4	272484	8.5	512143	9.6	10252	7.6	53030	17.2	24731	17.8
1969	26005	5.9	334887	7.2	296569	8.8	567961	8.5	12156	6.4	61845	11.7	42365	11.1
1970	20836		284294	6.6	288782	7.1	452306	7.5					49016	12.0

*其它元件包括接插件、石英晶体、继电器等。

**复合元件包括微型模件、集成电路、分子电路、薄膜电路等。

美国1960年开始生产商品性集成电路时, 其电容器在元器件总量中的比例为29.7%, 以后逐年下降, 到1964年开始大量生产集成电路时, 其比例为28.4%, 平均年下降率为0.34%, 在六四年以后的五年中, 即集成电路大量生产以后, 平均年下降率为1.26%, 1969年电容器在元器件中所占的比例为22.1%。由此可见, 在集成电路出现以后, 电容器在元器件中所占比例正在逐渐减小, 并且在集成电路大量生产后, 其下降率更大。美国曾对由于集成电路的出现, 分立电容器失掉的市场作如下估计⁽²²⁾:

1965年

1970年

1975年

1%

5%

23%

可见, 电容器需要量受到影响是肯定的。

表1-7 日本电子管、晶体管、电阻器、电容器和复合元件生产情况

单位：亿只

年 份	电 子 管	晶 体 管	电 阻 器	电 容 器	复 合 元 件
1956	0.42	0.0192			
1957	0.58	0.0979	2.11	2.32	
1958	0.59	0.3850	2.77	3.06	
1959	1.16	1.2830	5.55	7.30	
1960	1.51	2.0640	7.09	9.41	
1961	1.54	2.724	10.10	12.70	
1962	1.96	2.689	12.78	14.28	0.2033
1963	1.91	4.163	14.70	16.53	0.1642
1964	2.08	6.494	17.90	22.50	0.2443
1965	1.80	7.216	18.96	24.85	0.3311
1966	2.01	10.878	29.30	39.14	0.5373
1967	2.32	14.310	35.44	50.08	0.5779
1968	2.42	18.162	61.23	61.79	0.8977
1969	2.80	27.434	101.41	97.72	1.438
1970	2.30	37.160	136.33	106.27	
1971	1.81	32.536	138.89	105.22	
1972	2.06	46.707	147.34	136.83	

目前，日本的电容器一方面在整机中所占的比例在逐渐缩小，例如，在集成电路化的大型计算机中，电容器的用量只有3000个（以前晶体管式电子计算机需要47000个），减少率达94%，在彩色电视机中电容器减少率分别达80%、50%和60%^[23]。据估计，1973年日本的电容器将有25~70%被集成电路所代替。而另一方面，日本的电容器在元器件中所占的比例不仅没有减少，反而增加了，这是日本大量生产消费电子产品所造成的，特别是电视机、磁带录音机和立体声设备，使电容器产量急剧增加，而其中彩色电视机对电容器的产量增大起决定性作用。据津田博男^[6]说：“日本由于民用设备多，分立元件不那么受集成电路的影响。”

在投资方面，集成电路出现后对分立元件的投资并未减少，日本1965年对集成电路投资约9亿日元，1969年为100亿日元，而对元件和材料的投资（不包括电子管和半导体器件）1965年为39亿日元，1969年为181亿日元（表1-8列出了日本1957~1969年历年元器件材料投资情况），四年间增长了3.64倍。即使在集成电路已获极大发展的七十年代，对分立电容器的投资也未停止。如日本Sanshin Denshio公司在其附属工厂中投资7000万日元（227200美元），Oscar公司先后二次投资共达1.2亿日元（389600美元），以提高生产能力和建立新工厂^[24]，此外，Nissei电气公司，Taiyo Yuden公司，Shin-iei