

## 内 容 简 介

本书为《电子工业生产技术手册》电子元件卷第1分册。共有8篇：电容器、电阻器、电位器、电感器、电子变压器、混合集成电路、敏感元件、石英晶体及器件。内容主要介绍以上各种元器件的工艺流程、生产工艺、重要的原材料、生产设备、半自动和自动化生产线、测试方法和仪器，以及先进生产技术展望。

本书可供从事电子工业尤其是电子元器件生产、科研和教学的技术人员以及有关管理干部参考。

### 电子工业生产技术手册

(1)

电子元件卷

《电子工业生产技术手册》编委会 编

\*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092 1/16 印张65 插页2 1504千字

1990年2月第一版 1990年2月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

ISBN 7-118-00320-4/TN61 定价：35.60元

科技新书目182-023

# 目 录

## 第 1 篇 电容器

### 第 1 章 有机介质电容器····· 3

1.1 主要原材料及其性能····· 4
1.1.1 介质材料····· 4
1.1.2 导电材料····· 5
1.1.3 浸渍材料····· 11
1.2 典型工艺流程····· 14
1.3 电极箔和介质的分切····· 14
1.4 电容器纸涂漆····· 16
1.4.1 漆液的配制····· 16
1.4.2 涂漆····· 17
1.5 漆膜介质的形成····· 18
1.6 真空蒸发金属膜电极····· 18
1.6.1 对金属膜的要求及铝和 锌的蒸发工艺特点····· 18
1.6.2 介质的预处理····· 19
1.6.3 真空蒸发金属膜设备····· 20
1.7 芯子的卷绕····· 26
1.7.1 芯子的结构····· 26
1.7.2 芯子的卷绕····· 28
1.7.3 芯子卷绕机····· 30
1.7.4 芯子电容量的控制····· 31
1.7.5 芯子的质量控制····· 34
1.8 芯子的热处理····· 34
1.9 芯子端面涂敷或喷敷 金属层····· 36
1.10 真空干燥与浸渍····· 38
1.10.1 真空干燥····· 39
1.10.2 真空浸渍····· 40
1.10.3 浸渍料净化····· 40
1.11 金属化电容器芯子的 电老练····· 41
1.12 引出线的焊接····· 42
1.13 特殊的制造技术····· 44
1.13.1 提高电容量精度的方法····· 44
1.13.2 提高电容量稳定性的方法····· 44

1.13.3 提高电容器工作电压的 方法····· 44
1.13.4 获得确定的电容温度系 数的方法····· 45
1.13.5 改善电容器频率特性 的方法····· 45
1.14 有机介质电容器的 新发展····· 46
1.14.1 新的介质材料····· 46
1.14.2 新的产品结构和工艺····· 46
<b>第 2 章 铝电解电容器····· 48</b>
2.1 主要原材料····· 49
2.1.1 铝箔····· 49
2.1.2 铝线····· 51
2.1.3 铝板和铝带····· 51
2.1.4 电解电容器纸····· 52
2.1.5 封口橡胶····· 55
2.1.6 镀锡铜包钢线 (CP线)····· 55
2.1.7 化学试剂····· 55
2.1.8 粘胶带和纸带····· 59
2.1.9 聚氯乙烯 (PVC) 热 缩套管····· 60
2.2 零部件的制造····· 60
2.2.1 引线的制造····· 60
2.2.2 铝外壳的制造和清洗····· 62
2.2.3 电容器的压力保安装置 ——防爆阀····· 64
2.3 铝电解电容器的制造 工艺····· 65
2.3.1 铝箔腐蚀····· 66
2.3.2 阳极形成····· 68
2.3.3 阳极箔长度计算式····· 69
2.3.4 纸箔的分切····· 70
2.3.5 引线-铝箔铆接和芯子卷绕····· 71
2.3.6 工作电解质和浸渍····· 76
2.3.7 装配····· 76
2.3.8 老练和成品电参数检验····· 76

2.3.9 电容器编带 .....	83	3.4.3 形成 .....	129
2.4 其它铝电解电容器 .....	85	3.4.4 芯子卷绕与浸渍 .....	129
2.4.1 双(无)极性铝电解 电容器 .....	85	3.4.5 装配 .....	130
2.4.2 固体铝电解电容器 .....	86	3.4.6 老练及其它 .....	130
2.4.3 片型铝电解电容器 .....	86	3.5 钽电解电容器的生产工艺 .....	130
2.4.4 电双层电容器 .....	86	<b>第4章 云母电容器</b> .....	132
<b>参考文献</b> .....	87	4.1 主要结构材料 .....	132
<b>第3章 钽电解电容器</b> .....	88	4.1.1 云母 .....	132
3.1 主要原材料 .....	90	4.1.2 酚醛胶木粉 .....	133
3.1.1 阳极材料 .....	90	4.1.3 环氧树脂包封料 .....	134
3.1.2 形成液和工作电解质用 化学试剂 .....	93	4.1.4 浸渍料和表面涂料 .....	135
3.1.3 封装材料 .....	94	4.1.5 金属导电材料 .....	137
3.2 烧结式固体电解质钽电 容器的生产工艺 .....	95	4.2 制作技术 .....	137
3.2.1 典型工艺流程 .....	97	4.2.1 工艺流程 .....	137
3.2.2 混粉 .....	97	4.2.2 云母光片的制备 .....	137
3.2.3 钽块成型 .....	99	4.2.3 银电极和引出箔的制备 .....	139
3.2.4 烧结 .....	102	4.2.4 芯组叠装及容量调整 .....	142
3.2.5 钽块编带(条)和上盘(架) .....	105	4.2.5 压装及焊接引线卡子 .....	145
3.2.6 形成 .....	108	4.2.6 真空干燥和浸渍 .....	145
3.2.7 被覆固体电解质 .....	112	4.2.7 金属及陶瓷外壳云母电 容器的总装配 .....	146
3.2.8 涂石墨和银层 .....	114	4.2.8 塑料外壳的成型 .....	146
3.2.9 引线焊接 .....	115	4.2.9 产品电参数的测试 .....	147
3.2.10 装配与封装 .....	118	4.3 其它云母电容器的制造 技术 .....	148
3.2.11 老练 .....	119	4.4 云母电容器的新发展 .....	151
3.2.12 产品检测 .....	120	4.4.1 新的介质材料 .....	151
3.3 烧结式液体电解质钽电 容器的生产工艺 .....	123	4.4.2 新的结构和工艺 .....	151
3.3.1 工艺流程 .....	124	<b>第5章 可变电容器</b> .....	155
3.3.2 工作电解质及其配制 .....	125	5.1 主要原材料及其要求 .....	156
3.3.3 阴极容量与外壳内表面 的处理 .....	125	5.1.1 极片材料 .....	156
3.3.4 装配 .....	126	5.1.2 主要介质材料 .....	157
3.3.5 老练 .....	126	5.2 空气平板型可变电容器 .....	158
3.3.6 组合式电容器 .....	126	5.2.1 零件制造 .....	159
3.4 钽箔电解电容器的生产 工艺 .....	127	5.2.2 装配 .....	161
3.4.1 工艺流程 .....	127	5.2.3 质量控制 .....	163
3.4.2 去油与腐蚀 .....	127	5.2.4 防机震措施 .....	164
		5.3 同心型可变电容器 .....	164
		5.3.1 动、定子的冷挤成型 .....	165
		5.3.2 动、定子圈的精密引伸 .....	166
		5.3.3 装配 .....	167
		5.3.4 质量控制 .....	168

5.1 薄膜介质可变电容器 ····168	6.6.2 流化工艺·····201
5.4.1 动片、定片及介质片的自 动冲裁·····168	6.7 外壳-弹性体(橡皮)压封··202
5.4.2 轴的冷墩成型·····170	6.7.1 压封结构·····202
5.4.3 塑料零件的注塑成型····171	6.7.2 弹性体材料·····205
5.4.4 装配·····173	6.8 塑封 ·····205
5.4.5 消除静电噪音的措施····173	6.8.1 模塑·····205
5.4.6 质量控制·····174	6.8.2 传递模塑·····205
5.5 玻璃管状微调电容器····175	6.8.3 注塑·····206
5.5.1 被银玻璃管的加工·····175	6.9 清洗 ·····207
5.5.2 内电极的制造·····178	6.10 密封检查 ·····208
5.5.3 装配·····178	6.10.1 表示结构气密性的指标··208
5.5.4 质量控制·····178	6.10.2 试验方法·····209
5.6 真空可变电容器 ·····179	6.11 陶瓷绝缘子银层烧渗 法金属化工艺 ·····214
5.6.1 电极环的制造·····179	<b>第7章 电容器电性能的测量</b> ···216
5.6.2 波纹管·····181	7.1 电容量及损耗角正切 的测量 ·····216
5.6.3 电极环的表面处理·····183	7.1.1 电容器的等效电路·····216
5.6.4 装配·····184	7.1.2 测量条件·····216
5.7 可变电容器的发展趋向··186	7.1.3 电流-电压测量法·····220
5.7.1 发展方向·····186	7.1.4 电桥法·····221
5.7.2 新的产品结构·····186	7.1.5 谐振法·····224
5.7.3 生产工艺的改造·····186	7.1.6 其他常用的测量技术·····226
<b>第6章 电容器的封装</b> ·····188	7.1.7 常用测量仪表·····232
6.1 金属与陶瓷、玻璃的封接··188	7.2 耦合电容的测量 ·····232
6.2 钎焊 ·····188	7.3 电容量温度特性的测量··233
6.2.1 焊前处理·····188	7.3.1 温度循环程序和相应的 特性指标·····233
6.2.2 软焊料及焊剂·····190	7.3.2 测量条件和方法·····234
6.2.3 加热焊接·····190	7.3.3 测量夹具·····234
6.2.4 常见的缺陷·····192	7.4 阻抗的测量·····235
6.3 熔焊 ·····192	7.4.1 测量条件和方法·····235
6.4 浸封 ·····193	7.4.2 测量仪表·····235
6.4.1 对浸封料的要求·····194	7.5 自振频率的测量 ·····236
6.4.2 酚醛树脂浸封·····194	7.5.1 测量方法〔1〕·····236
6.4.3 环氧树脂浸封·····195	7.5.2 测量方法〔2〕·····236
6.5 灌注包封、浇铸包封和 粘封 ·····198	7.5.3 测量方法〔3〕·····237
6.5.1 灌注包封·····198	7.6 电感的测量·····237
6.5.2 浇铸包封·····199	7.6.1 测量方法〔1〕·····237
6.5.3 粘封·····200	7.6.2 测量方法〔2〕·····237
6.6 流化包封·····200	7.7 高频特性参数的测量····237
6.6.1 粉末流化用包封料·····200	

7.7.1	高频阻抗分析仪	238
7.7.2	网络分析仪	238
7.7.3	用同轴谐振线测电容器 损耗	240
7.8	绝缘电阻和漏电流的测 量	240
7.8.1	电容器的充、放电规律	241
7.8.2	测量条件	241
7.8.3	测量方法	242
7.8.4	有害漏电流的消除	243
7.8.5	测量仪器	244
7.9	转子接触电阻的测量	244
7.9.1	测量条件	244
7.9.2	测量方法	245
7.9.3	测量仪表	246
7.10	耐电压试验	246
7.10.1	试验条件	246
7.10.2	试验方法	246
7.11	吸收系数的测量	247
7.11.1	吸收系数	247
7.11.2	测量方法	248

## 第2篇 电阻器

<b>第1章 薄膜电阻器</b>	251
1.1 典型工艺流程	252
1.2 基体	252
1.2.1 基体材料	252
1.2.2 清洗	253
1.2.3 腐蚀	253
1.2.4 煅烧	254
1.3 膜层制备	254
1.3.1 碳膜制备	254
1.3.2 金属膜制备	257
1.3.3 金属氧化膜制备	264
1.4 热处理	267
1.4.1 高温热处理	267
1.4.2 低温热处理	268
1.5 焊装引出线	268
1.5.1 引出线与帽盖焊接	268
1.5.2 加帽	271
1.6 阻值预分	273

1.7 阻值调整	273
1.8 老练	276
1.9 表面涂覆及标志	277
1.10 包装	278
1.11 薄膜电阻器的发展动态	278

### 参考文献

## 第2章 玻璃釉电阻器

2.1 典型工艺流程	279
2.2 材料制备	280
2.2.1 玻璃粉	280
2.2.2 导电粉	281
2.2.3 有机载体	282
2.3 玻璃釉浆料的制备	282
2.3.1 浆料配制工艺	282
2.3.2 导电浆料	282
2.3.3 电阻浆料	285
2.3.4 浆料的质量检验	295
2.4 玻璃釉电阻器的制作	296
2.4.1 普通玻璃釉电阻器	296
2.4.2 片状玻璃釉电阻器	307
2.4.3 电阻网络	312
2.5 发展趋势	314

## 第3章 金属箔电阻器

3.1 分类和结构	316
3.2 制造工艺	318
3.2.1 电阻图形设计	318
3.2.2 箔材处理	320
3.2.3 基片清洗	323
3.2.4 贴箔	324
3.2.5 光刻	324
3.2.6 热老练	327
3.2.7 焊接引线	327
3.2.8 调阻	327
3.2.9 包封	328
3.2.10 电老练	329
3.2.11 TCR 测量	329
3.2.12 阻值测量	330

### 3.3 生产技术的新发展

## 第4章 线绕电阻器

4.1 电阻合金线	332
4.1.1 对合金线的要求	332

4.1.2 常用电阻合金线的品种 及性能·····	332
4.2 功率型线绕电阻器·····	334
4.2.1 结构类型·····	335
4.2.2 制造工艺·····	335
4.3 精密型线绕电阻器·····	338
4.3.1 结构类型·····	338
4.3.2 制造工艺·····	339
<b>第5章 电阻器的特性测试</b> ·····	344
5.1 电阻值的测量·····	344
5.1.1 高阻值的测量·····	344
5.1.2 中阻值的测量·····	347
5.1.3 低阻值的测量·····	350
5.1.4 精密电阻值的测量与检定··	350
5.1.5 电阻器的自动化测试·····	352
5.2 温度系数测试·····	356
5.3 电压系数测试·····	358
5.4 非线性测试·····	359
5.5 噪声测试·····	360
5.6 高频性能测试·····	360
<b>第3篇 电位器</b>	
<b>第1章 合成炭膜电位器</b> ·····	368
1.1 工艺流程和主要工艺要求··	368
1.2 主要原材料及其技术要求··	369
1.2.1 炭黑·····	369
1.2.2 树脂·····	372
1.2.3 酚醛树脂层压纸板及其 处理·····	372
1.2.4 银粉·····	373
1.3 浆料的配制·····	373
1.3.1 配制的准则和要求·····	373
1.3.2 浆料的组成及配制工艺··	375
1.4 各种阻值规律的工艺设计··	377
1.4.1 电阻段图形设计·····	377
1.4.2 端头图形设计·····	384
1.5 成膜工艺·····	384
1.5.1 制版·····	385
1.5.2 电阻体印刷·····	387
1.5.3 干燥和聚合·····	389
1.6 装配线·····	392

1.6.1 传送带装配流水线·····	392
1.6.2 半自动和自动化装配线··	395
1.7 主要工艺装置和工具·····	402
1.7.1 润滑油涂覆工具·····	402
1.7.2 电阻体打标志装置和外 壳打标志装置·····	403
1.7.3 外壳铆接工具·····	404
1.7.4 回转工具·····	405
1.7.5 电阻体自动分选装置·····	405
1.8 开关的类型和特点·····	406
1.9 先进生产技术展望·····	407
1.9.1 浆料开发·····	408
1.9.2 基板材料·····	410
1.9.3 结构设计·····	410
1.9.4 自动装配线(机)的展望··	410
<b>参考文献</b> ·····	411
<b>第2章 有机实芯电位器</b> ·····	412
2.1 工艺流程和主要工艺要求··	412
2.2 电阻体的制造·····	413
2.2.1 主要原材料及其技术要求··	413
2.2.2 专用塑料粉的制造·····	414
2.2.3 电阻粉料和端阻粉料的 制造·····	415
2.2.4 电阻体的成型工艺·····	419
2.2.5 电阻体的质量检查要求··	421
2.3 接触刷的制造·····	421
2.3.1 对接触刷的要求·····	421
2.3.2 接触刷粉料的制备·····	421
2.3.3 接触刷的成型工艺·····	422
2.3.4 接触刷的质量检查要求··	423
2.4 结构与装配·····	423
2.4.1 结构·····	423
2.4.2 装配·····	424
2.5 WS型实芯电位器自动 装配机·····	426
<b>第3章 玻璃釉电位器</b> ·····	429
3.1 工艺流程和主要工艺 要求·····	429
3.2 浆料·····	429
3.2.1 中间料的制备及质量检查··	430
3.2.2 浆料的制备·····	433

3.2.3	电阻浆料的质量控制	433	4.5.2	条形骨架绕线机	470
3.2.4	浆料的质量检查	434	4.5.3	新型绕线机	473
3.3	印刷电阻体	436	4.6	线绕电位器的质量分析 及其主要解决措施	474
3.3.1	基片的质量要求	436	4.6.1	装配工艺中的质量问题、 原因分析及改进措施	474
3.3.2	印刷丝网的制备	437	4.6.2	失效分析及其控制	475
3.3.3	印刷工艺	439	4.7	先进生产技术展望	476
3.3.4	印刷设备	441	<b>参考文献</b>		476
3.4	烧结	442	<b>第5章 其它类型电位器</b>		477
3.4.1	烧结过程	442	5.1	导电塑料电位器	477
3.4.2	烧结工艺要点	442	5.1.1	工艺流程和主要工艺 要求	478
3.4.3	烧结设备	443	5.1.2	电阻体制造工艺	479
3.5	典型结构及装配	445	5.1.3	线性修刻	482
3.5.1	引出端的连接与固定	446	5.2	金属膜电位器	484
3.5.2	接触刷及其连接	447	5.2.1	主要原材料及其要求	486
3.5.3	外壳及封装	449	5.2.2	电阻体制造	487
<b>参考文献</b>		451	5.2.3	装配及密封工艺	489
<b>第4章 线绕电位器</b>		452	5.3	金属氧化膜电位器	490
4.1	工艺流程和主要工艺 要求	452	5.3.1	主要生产工艺	490
4.2	绕组制备	453	5.3.2	成膜设备	492
4.2.1	条形骨架绕组制备	453	5.4	先进生产技术展望	493
4.2.2	环形骨架绕组制备	455	<b>参考文献</b>		495
4.2.3	函数电位器绕组制备	458	<b>第6章 电位器测试技术</b>		496
4.2.4	绕组成型	458	6.1	电位器参数的测试依据	496
4.2.5	绕组浸(涂)漆	459	6.2	主要参数的测试方法	498
4.2.6	绕组抛光	459	6.2.1	标称阻值及允许偏差	498
4.2.7	焊接	461	6.2.2	零位(终端)电阻	499
4.3	典型结构及装配	463	6.2.3	阻值规律及其偏差	499
4.3.1	精密线绕电位器的典型 结构及装配	463	6.2.4	符合性和线性精度	500
4.3.2	微调线绕电位器的典型 结构及装配	465	6.2.5	转动噪声	504
4.3.3	功率型线绕电位器的装 配特点	466	6.2.6	低电平接触电阻	507
4.4	专用材料	466	6.2.7	可调能力或分辨力 (可调性)	508
4.4.1	电阻合金线	466	6.2.8	同步误差(适用于同轴多 联电位器)	509
4.4.2	润滑材料	467	6.2.9	开关接触电阻	509
4.4.3	去漆剂	468	6.2.10	止挡力矩	510
4.4.4	骨架材料	469	6.2.11	可焊性	510
4.5	绕线机	469	6.2.12	密封性	512
4.5.1	环形骨架绕线机	469			

6.3	环境适应性测试	512
6.3.1	气候顺序试验	513
6.3.2	盐雾试验	514
6.3.3	SO <sub>2</sub> 和H <sub>2</sub> S试验	514
6.4	电位器参数测试新型 电路	515
6.5	电位器参数新型测试仪	518
6.6	测试技术的发展动向	521
	参考文献	522

附录1	用漏斗法(涂4粘度计) 测定浆料粘度的试验 方法	522
-----	--------------------------------	-----

附录2	近年部分国家电位器 用电阻浆料专利简目	523
-----	------------------------	-----

附录3	塑料拉西哥试验方法	523
-----	-----------	-----

## 第4篇 电感器

第1章	电感器的基本要求及 其结构形式	527
-----	--------------------	-----

1.1	电感器的基本要求	527
1.2	固定电感器的结构形式	529
1.3	可调电感器的结构形式	529
1.4	功率变压器的结构形式	533

第2章	电感器的线圈骨架	536
-----	----------	-----

2.1	磁心骨架	536
2.2	塑料骨架	540
2.3	高频瓷骨架	542
2.4	层压线圈骨架	543

第3章	电感线圈的绕制工艺	546
-----	-----------	-----

3.1	单层平绕和多层平绕 线圈	546
3.1.1	密绕线圈	546
3.1.2	间绕线圈	547
3.2	蜂房线圈	548
3.2.1	蜂房线圈的主要参数	548
3.2.2	绕蜂房线圈注意事项	551
3.3	环形线圈	551
3.4	被银线圈	551
3.5	线圈引出线固定、绝缘 层处理及始末端标记	552

第4章	电感器的浸渍、包封、 灌封和老化处理	554
-----	-----------------------	-----

4.1	浸渍	554
4.2	包封	555
4.3	灌封	556
4.4	老化处理	557

第5章	电感器的测量	558
-----	--------	-----

5.1	电感量的测量	559
5.2	Q值的测量	559
5.3	分布电容C <sub>0</sub> 的测量	559
5.4	互感量M, 耦合系数K 的测量	560
5.5	电感温度系数 $\alpha_L$ 的测量	561

第6章	通用电感元件生产技术	562
-----	------------	-----

6.1	平面电感器	562
6.1.1	薄膜平面电感量的计算	562
6.1.2	工艺流程	562
6.1.3	关键工艺	562
6.2	卧式电感器	563
6.2.1	工艺流程	563
6.2.2	关键工艺	563
6.3	立式电感器	563
6.3.1	工艺流程	563
6.3.2	关键工艺	563
6.4	10B型中频变压器	564
6.4.1	工艺流程	564
6.4.2	关键工艺	564
6.5	录音机用偏磁振荡线圈	565
6.5.1	工艺流程	565
6.5.2	关键工艺	565
6.6	一体化组合件	565
6.6.1	带通滤波器	565
6.6.2	陷波器	565
6.7	无引线片状电感元件展望	566

## 第5篇 电子变压器

第1章	铁心制造	569
-----	------	-----

1.1	铁心的材料与结构	569
1.1.1	硅钢和铁镍合金	569
1.1.2	软磁铁氧体	569



1.1.3	非晶态合金	569
1.1.4	常用铁心的结构	569
1.2	冲片铁心制造工艺	576
1.2.1	下料	577
1.2.2	冲片的工艺与设备	577
1.3	C形和E形铁心的制 造工艺	578
1.3.1	去毛刺和清洗	578
1.3.2	涂粘结层	578
1.3.3	卷绕	579
1.3.4	整形	579
1.3.5	浸渍	579
1.3.6	切割	580
1.3.7	端面加工	581
1.4	铁镍合金卷绕铁心的制 造工艺	581
1.5	铁心的热处理	582
1.5.1	硅钢铁心的热处理	582
1.5.2	铁镍合金铁心的热处理	582
1.6	铁心电磁参数的检查	583
1.7	有效脉冲磁导率的测量	584
<b>第2章</b>	<b>线圈制造</b>	<b>586</b>
2.1	线圈的材料	586
2.2	线圈的结构	588
2.2.1	骨架和底筒的结构	588
2.2.2	线圈的结构	588
2.3	底筒和骨架的加工方法	590
2.4	绕线工艺	591
2.4.1	绕线机的类别	591
2.4.2	普通绕线工艺	591
2.5	浸渍	592
2.5.1	浸渍的目的和意义	592
2.5.2	浸渍材料	592
2.5.3	浸渍工艺	592
2.6	光敏固化浸渍工艺	594
2.7	端封、裹覆和低温硫化	595
2.7.1	端封	595
2.7.2	裹覆	595
2.7.3	低温硫化	595
2.8	灌注	595
2.9	线圈质量的检查	597

<b>第3章</b>	<b>电子变压器的装配与 调整</b>	<b>598</b>
3.1	常用电子变压器的结构	598
3.1.1	电源变压器的结构	598
3.1.2	微型组件用变压器结构	599
3.2	冲片铁心变压器的装配	600
3.3	CD型和ED型铁心变 压器的装配	600
3.4	环形变压器的制造工艺	601
3.4.1	铁心的绝缘	601
3.4.2	绕线	601
3.4.3	浸渍	602
3.4.4	裹覆	602
3.5	微型组件用变压器的工艺	603
3.5.1	线轴式变压器	603
3.5.2	片状壳式变压器	603
3.6	稳压变压器	603
3.7	压电变压器	604
3.8	电子变压器的屏蔽	605
3.9	电子变压器的隔离方法	606
<b>第4章</b>	<b>脉冲变压器的制造工艺</b>	<b>607</b>
4.1	脉冲变压器的结构	607
4.1.1	大功率脉冲变压器的 结构	607
4.1.2	小功率脉冲变压器的 结构	608
4.2	脉冲变压器的铁心	608
4.3	脉冲变压器的绕组	609
4.4	脉冲变压器的装配	609
<b>第5章</b>	<b>回扫变压器的制造工艺</b>	<b>610</b>
5.1	回扫变压器的分类与 结构	610
5.2	回扫变压器的主要技术 指标	611
5.3	一体化回扫变压器的制 造工艺	612
5.3.1	零件加工制造及准备	612
5.3.2	高低压线圈绕制及检查	613
5.3.3	高低压线圈与外壳组装	613
5.3.4	灌封及固化	614

5.3.5	总装及检验	616
5.4	电晕及其测试	617
<b>第6章 电子变压器的测试</b> 618		
6.1	电源变压器的一般测量	618
6.1.1	空载特性的测量	618
6.1.2	负载特性的测量	618
6.1.3	温升试验	619
6.1.4	绝缘电阻的测量及抗电强度试验	619
6.1.5	感应电压试验	619
6.2	音频变压器的测量	619
6.2.1	电感量的测量	619
6.2.2	漏感的测量	620
6.2.3	频率响应的测量	620
6.3	脉冲变压器主要参数的测量	621
6.4	超隔离变压器的检查	623
<b>第7章 电子变压器的可靠性与安全性</b> 624		
7.1	电源变压器的可靠性	624
7.1.1	可靠性要求	624
7.1.2	可靠性试验气候条件	624
7.1.3	变压器的故障	624
7.1.4	生产工艺要求	625
7.2	回扫变压器的可靠性	626
7.2.1	可靠性要求	626
7.2.2	生产工艺要求	626
7.3	日用电子变压器的安全措施	627
7.3.1	防止击穿与漏电流的措施	627
7.3.2	阻燃措施	628
7.3.3	限温保护措施	629
7.4	日用电子变压器的安全试验	630
7.5	回扫变压器的安全要求	631
<b>第8章 电子变压器的工艺设备</b> 632		
8.1	变压器生产中的常用设备	632
8.2	铁心卷绕设备	632
8.3	高效率绕线机	633

8.4	铁心片插片机	634
-----	--------	-----

<b>参考文献</b>		634
-------------	--	-----

## 第6篇 混合集成电路

### 第1章 厚膜混合集成电路工艺 637

1.1	工艺流程	637
1.2	厚膜浆料	638
1.2.1	贵金属粉料	638
1.2.2	导体浆料	641
1.2.3	电阻浆料	643
1.2.4	介质浆料	647
1.2.5	质量检验	649
1.3	厚膜基片	650
1.4	电路的平面化设计	652
1.4.1	导体平面化	652
1.4.2	电阻平面化	653
1.4.3	电容平面化	654
1.4.4	布局平面化	654
1.5	印刷网版制备	655
1.5.1	主要材料	655
1.5.2	网版制备	656
1.6	成膜工艺	659
1.6.1	丝网印刷	659
1.6.2	烧结	664
1.7	微调技术	668
1.7.1	喷砂调阻	669
1.7.2	激光调阻	670
1.8	厚膜多层布线	673
1.8.1	典型布线方法	673
1.8.2	集成工艺	677
1.8.3	通断测试	678
1.9	发展趋势	679
<b>参考文献</b>		682

### 第2章 薄膜混合集成电路

<b>工艺</b>		683
2.1	工艺流程	683
2.2	电路的平面化设计	685
2.2.1	薄膜电阻器的平面化	685
2.2.2	薄膜电容器的平面化	686
2.2.3	薄膜电感器的平面化	688
2.2.4	薄膜互连线及多层布线	688

2.2.5	平面布局及寄生效应	689	方法	746	
2.3	薄膜电路的制版及光刻技术	691	3.5.2	功能调整技术	749
2.3.1	刻图和照相制版	691	3.6	可靠性、质量控制与安全措施	750
2.3.2	金属掩模版的光刻	692	3.6.1	提高产品可靠性的措施	750
2.3.3	直接光刻法制造薄膜元件	693	3.6.2	典型失效分析	751
2.3.4	反刻法制造薄膜元件	693	3.6.3	安全措施	752
2.4	薄膜电路的基片	695	3.7	大生产技术	752
2.5	薄膜电路生产中的清洗	696	参考文献	753	
2.6	成膜技术及薄膜元件	697	<b>第4章 混合集成电路的组装技术</b>	755	
2.6.1	真空蒸发成膜	697	4.1	外贴元器件与膜式电路的组装	755
2.6.2	溅射成膜技术	700	4.1.1	外贴有源器件的种类	755
2.6.3	薄膜厚度的监控	703	4.1.2	外贴无源元件的种类	757
2.6.4	薄膜电阻器	704	4.1.3	外贴元器件的检验	758
2.6.5	薄膜电容器	705	4.1.4	外贴有源器件的组装	758
2.6.6	薄膜互连线及多层布线	707	4.1.5	线焊	765
2.6.7	硅片电容器及硅片薄膜电阻器	708	4.1.6	外贴无源元件的组装	769
2.7	薄膜元件的老化和调值	709	4.2	混合集成电路的内电路保护	770
2.7.1	薄膜电阻器的老化	709	4.3	混合集成电路的电性能测试	772
2.7.2	薄膜电容器的老化	709	4.4	混合集成电路的封装	772
2.7.3	薄膜电阻器调值	709	4.4.1	封装的种类及其特点	772
2.7.4	薄膜电容器调值	711	4.4.2	全密封封装	774
2.8	发展趋势	711	4.4.3	全密封的检验	774
参考文献		712	4.4.4	半密封封装	775
<b>第3章 微波混合集成电路</b>		713	4.4.5	混合集成电路的外引线	778
3.1	工艺流程	714	4.5	混合集成电路的筛选	780
3.2	计算机辅助设计	716	4.6	混合集成电路组装的质量保证	781
3.3	金属化工艺	717	4.7	混合集成电路的标志和包装	782
3.3.1	基片的选择、加工与清洗	717	4.8	混合集成电路的散热	783
3.3.2	金属化	723	4.9	混合集成电路的可靠性	783
3.3.3	成膜新工艺	731	4.9.1	产品的例行试验	783
3.4	组装工艺	731	4.9.2	产品的可靠性试验	784
3.4.1	常用元器件的选择与安装	731	4.9.3	混合集成电路的可靠性预测	785
3.4.2	外壳与接头设计制造	740			
3.4.3	焊接与胶接工艺	742			
3.4.4	互连、接地与交叉隔离工艺	744			
3.4.5	镶嵌工艺	745			
3.5	测试与调整	746			
3.5.1	常用测试仪器与测量				

- 4.9.4 混合集成电路的失效分析 ·786  
4.10 发展趋势 ······788

**参考文献** ······788

**第7篇 敏感元件**

**第1章 热敏电阻器** ······791

- 1.1 制造热敏电阻器的材料 ···792  
1.1.1 过渡金属氧化物材料 ···792  
1.1.2 钛酸钡材料 ······799  
1.1.3 其它材料 ······801  
1.2 制造技术 ······801  
1.2.1 多晶陶瓷型热敏电阻器  
的制造 ······801  
1.2.2 膜型热敏电阻器的制造 ···804  
1.2.3 单晶热敏电阻器的制造 ···806  
1.2.4 热敏电阻器的互换性  
及线性化 ······807  
1.3 性能检测 ······808  
1.3.1 零功率电阻值 ( $R_T$ ) 和  
额定标称零功率电阻值  
( $R_{25}$ ) 的测量 ······808  
1.3.2 B 值和电阻温度系数的  
测量 ······809  
1.3.3 电阻-温度特性的测量 ···810  
1.3.4 静态电压-电流特性的测量 ·810  
1.3.5 耗散常数的测量 ······810  
1.3.6 时间常数的测量 ······811

**参考文献** ······812

**第2章 磁敏元件** ······813

- 2.1 磁敏元件材料性能 ·····813  
2.2 磁敏电阻的制造 ·····814  
2.2.1 半导体磁敏电阻 ·····814  
2.2.2 强磁性金属磁敏电阻 ···817  
2.3 磁敏三极管的制造 ·····820  
2.3.1 锗磁敏三极管 ······820  
2.3.2 硅磁敏三极管 ······821  
2.4 霍尔元件的制造 ······822  
2.4.1 锗霍尔元件 ······823  
2.4.2 单晶型砷化镓霍尔元件 ···824  
2.4.3 薄膜型砷化镓霍尔元件 ···824  
2.4.4 砷化镓霍尔元件 ······825

- 2.5 霍尔集成电路 ······827  
2.5.1 双极霍尔集成电路原理图 ·827  
2.5.2 双极霍尔集成电路芯片  
制造 ······828  
2.5.3 霍尔集成电路封装技术 ···829

**2.6 磁敏元件的性能及测试** ···830

- 2.6.1 磁敏电阻 ······830  
2.6.2 磁敏三极管 ······832  
2.6.3 霍尔元件 ······834  
2.6.4 霍尔集成电路 ······836

**2.7 磁敏元件发展趋势** ·····838

**参考文献** ······838

**第3章 可见光光敏电阻器及**

**电位器** ······839

- 3.1 材料的性能及配方 ·····839  
3.1.1 材料性能 ······839  
3.1.2 配方 ······840  
3.2 光敏电阻器的制造技术 ···842  
3.2.1 浆料制备 ······842  
3.2.2 成膜 ······842  
3.2.3 敏化 ······843  
3.2.4 电极制备及亮电阻值控制 ·843  
3.2.5 装配及封装 ······844  
3.3 光敏电阻器的主要性能  
与测试方法 ······844  
3.3.1 亮电阻和暗电阻 ······844  
3.3.2 亮电阻-照度特性 ( $\gamma$  值) ·845  
3.3.3 响应时间 ······845  
3.3.4 光谱响应特性 ······846  
3.3.5 前历效应 ······847  
3.4 光敏电位器 ······847  
3.5 光电耦合器 ······848

**第4章 力敏元件及传感器** ·····850

- 4.1 工作原理 ······850  
4.1.1 压阻式力敏元件 ······850  
4.1.2 压电式力敏元件 ······850  
4.2 半导体应变片 ······851  
4.2.1 体型半导体应变片 ·····851  
4.2.2 扩散型半导体应变片 ·····851  
4.2.3 薄膜型半导体应变片 ·····851  
4.3 力传感器 ······852

4.3.1 贴片式半导体压力、加 速度传感器·····	852	5.4.1 半导体气敏元件的主要 性能·····	869
4.3.2 硅杯(梁)式力传感器·····	852	5.4.2 测试技术·····	870
4.3.3 压电式压力传感器·····	852	<b>第6章 湿敏元件</b> ·····	873
4.3.4 压电式加速度传感器·····	853	6.1 湿敏元件用感湿材料性 能与配方·····	873
4.4 半导体压阻和压电材料·····	853	6.1.1 电解质湿敏元件用材料·····	873
4.4.1 压阻材料·····	853	6.1.2 金属氧化物湿敏元件用 材料·····	873
4.4.2 压电材料·····	854	6.1.3 碳湿敏元件用材料·····	874
4.5 半导体压阻式力敏元件 制造技术·····	854	6.2 氯化锂湿敏元件制造技术·····	875
4.5.1 扩散型半导体应变片工 艺流程·····	854	6.2.1 元件结构·····	875
4.5.2 扩散型半导体应变片关 键技术·····	854	6.2.2 工艺流程·····	875
4.6 力传感器制造技术·····	856	6.2.3 关键技术·····	875
4.6.1 硅杯式压力传感器·····	856	6.3 聚苯乙烯磺酸锂湿敏元 件制造技术·····	876
4.6.2 压阻式加速度传感器·····	857	6.3.1 工艺流程·····	876
4.6.3 压电式压力(加速度) 传感器·····	858	6.3.2 关键技术·····	876
4.7 产品性能及测试方法·····	858	6.4 金属氧化物湿敏元件制 造技术·····	877
4.7.1 半导体应变片性能及测 试方法·····	858	6.4.1 $MgCr_2O_4-TiO_2$ 湿敏元件·····	877
4.7.2 压力传感器性能及测试 方法·····	860	6.4.2 厚膜湿敏元件·····	878
<b>第5章 气敏元件</b> ·····	862	6.5 碳湿敏电阻制造技术·····	879
5.1 烧结型气敏元件材料·····	863	6.5.1 元件结构·····	879
5.1.1 $SnO_2$ 的基本性能·····	863	6.5.2 工艺流程·····	879
5.1.2 $ZnO$ 的基本性能·····	863	6.5.3 关键技术·····	879
5.1.3 $Fe_2O_3$ 系的基本性能·····	863	6.6 产品性能测试及装置·····	880
5.1.4 催化剂及其对气敏材料 性能的影响·····	864	6.6.1 产品性能测试·····	880
5.2 烧结型气敏元件的制造 技术·····	864	6.6.2 湿度发生装置·····	880
5.2.1 $SnO_2$ 系气敏元件的制造·····	864	<b>第7章 压敏电阻器</b> ·····	883
5.2.2 $ZnO$ 系气敏元件的制造·····	866	7.1 压敏电阻器的材料·····	883
5.2.3 $Fe_2O_3$ 系气敏元件的制造·····	867	7.1.1 典型配方·····	883
5.3 结型及其他类型气敏元 件的制造技术·····	868	7.1.2 氧化锌压敏电阻器的 配方·····	884
5.3.1 结型气敏元件·····	868	7.2 制造技术·····	887
5.3.2 其他气敏元件·····	869	7.2.1 典型压敏电阻器的制造 技术·····	887
5.4 产品性能与测试技术·····	869	7.2.2 其它压敏电阻器的制造 技术·····	891
		7.3 压敏电阻器的性能与测 试技术·····	893

7.3.1 压敏电阻器的性能·····893  
 7.3.2 测试技术·····894  
 7.3.3 压敏电阻器产品均匀性的检测·····895  
 7.4 压敏电阻器制造工艺的改进·····895

**第8章 新型敏感元件及传感器** ·····896

8.1 离子传感器·····896  
 8.1.1 场效应离子传感器的结构与特点·····896  
 8.1.2 ISFET 传感器的敏感膜·····896  
 8.1.3 ISFET 传感器的关键技术·····897  
 8.2 光纤传感器·····898  
 8.2.1 光纤传感器的分类·····898  
 8.2.2 光纤传感器用光纤·····899  
 8.2.3 光纤传感器的常用光源·····900  
 8.2.4 光纤传感器用探测器·····900  
 8.2.5 光纤传感器用光学元件·····900  
 8.3 生物传感器·····900  
 8.3.1 生物敏感元件及传感器的特点·····900  
 8.3.2 生物传感器的结构原理·····900  
 8.3.3 酶传感器·····901  
 8.3.4 微生物传感器·····901  
 8.3.5 免疫传感器·····902

**第8篇 石英晶体及器件**

**第1章 人造石英晶体** ·····905

1.1 石英晶体的结构·····905  
 1.1.1 晶体的外形·····905  
 1.1.2 石英晶体的晶轴·····905  
 1.1.3 晶面与晶面符号·····906  
 1.1.4 石英晶体的内部结构·····906  
 1.2 石英晶体的性能·····908  
 1.2.1 一般物理化学性能·····908  
 1.2.2 石英晶体的弹性与导电性·····909  
 1.2.3 石英晶体的压电性·····909  
 1.3 水热法合成人造石英晶体·····910  
 1.4 人造石英晶体的培育技术·····914  
 1.4.1 培育人造石英晶体的工艺流程·····914

1.4.2 高压釜·····914  
 1.4.3 温度控制系统与测压装置·····918  
 1.4.4 溶液计算·····919  
 1.4.5 籽晶片·····919  
 1.4.6 人造石英晶体生长的质量控制·····920

1.5 人造石英晶体的质量要求及其检测技术·····921

1.5.1 人造石英晶体的质量标准·····921  
 1.5.2 用红外分光光度计测量人造石英晶体的Q值·····922  
 1.5.3 用X射线形貌术观测人造石英晶体的缺陷·····922  
 1.5.4 用电子探针分析人造石英晶体的包裹体·····923  
 1.5.5 用发射光谱和原子吸收分析人造石英晶体中的杂质·····924

1.6 人造石英晶体生产技术的发展趋势·····925

**参考文献**·····926

**第2章 石英谐振器** ·····927

2.1 石英谐振器的振动模式和分类型号·····927  
 2.1.1 石英晶片的振动模式·····927  
 2.1.2 石英谐振器的分类和型号·····927  
 2.2 石英谐振器的特性·····929  
 2.2.1 谐振特性·····929  
 2.2.2 频率温度特性·····931  
 2.2.3 老化特性·····933  
 2.2.4 激励电平和负载电容特性·····933  
 2.3 石英晶片的加工·····936  
 2.3.1 石英晶体的划线和切割·····936  
 2.3.2 定向和测角·····938  
 2.3.3 研磨·····940  
 2.3.4 石英晶片加工新技术·····944  
 2.4 石英谐振器的装配·····947  
 2.4.1 石英晶片的腐蚀和清洗处理·····947  
 2.4.2 电极的制备·····949

2.4.3 点银点和焊线·····	950	5.1.2 石英晶片平行度的测量·····	1000
2.4.4 调频和装架·····	951	5.1.3 石英晶片曲率半径的测量·····	1000
2.4.5 石英谐振器的封装·····	954	5.2 石英谐振器等效参数及	
<b>参考文献</b> ·····	956	谐振频率的测量方法·····	1001
<b>第3章 晶体滤波器</b> ·····	957	5.2.1 阻抗计法·····	1002
3.1 分立式带通晶体滤波器·····	957	5.2.2 $\pi$ 型网络——零相位法·····	1003
3.1.1 带通晶体滤波器·····	957	5.2.3 T型网络——零相位法·····	1005
3.1.2 单边带晶体滤波器·····	967	5.2.4 传输法·····	1007
3.1.3 梳形晶体滤波器·····	974	5.2.5 并联电容 $C_0$ 的测量·····	1007
3.1.4 分立式晶体滤波器的制造·····	974	5.3 寄生响应的测量方法·····	1008
3.2 单片晶体滤波器·····	977	5.3.1 阻抗计法·····	1008
3.2.1 带通单片晶体滤波器·····	977	5.3.2 扫频仪直接观察法·····	1008
3.2.2 边带单片晶体滤波器·····	981	5.3.3 电桥法·····	1008
3.2.3 单片晶体滤波器的制造·····	982	5.4 晶体滤波器的测量·····	1009
<b>参考文献</b> ·····	985	5.4.1 晶体滤波器幅频特性的	
<b>第4章 晶体振荡器</b> ·····	986	测量·····	1009
4.1 晶体振荡器的工作原理		5.4.2 晶体滤波器相频特性的	
和主要技术要求·····	986	测量·····	1010
4.2 普通晶体振荡器·····	987	5.4.3 晶体滤波器的匹配特性	
4.3 温补晶体振荡器·····	989	(或反射系数)的测量·····	1010
4.4 恒温晶体振荡器·····	991	5.5 晶体振荡器频率稳定特	
<b>参考文献</b> ·····	998	性的测量·····	1011
<b>第5章 测量方法</b> ·····	999	5.5.1 频率准确度的测量·····	1011
5.1 石英晶片外形的测量		5.5.2 长期频率稳定度(或老	
方法·····	999	化率)的测量·····	1012
5.1.1 石英晶片平整度的测量·····	999	5.5.3 短期频率稳定度的测量·····	1013
		<b>参考文献</b> ·····	1015

# 电 容 器

主 编

庞 天 柱

主 审

杨 臣 华      邓 国 祥



本篇叙述除陶瓷电容器以外的各类电容器主要品种的生产技术，陶瓷电容器参见本卷第9篇电子陶瓷材料及器件。近年来国内引进了不少电容器自动生产线，本篇尽可能地介绍这些生产线的工艺技术；但考虑到目前还有许多工厂仍沿用规模较小的单机型工艺，故对这种工艺也作了适当介绍，以满足不同企业的需要。

鉴于电容器的性能与材料密切有关，本篇各章内均较详细的介绍了主要材料包括外壳结构材料、金属电极材料、介质和浸渍材料、电解质和电子化工材料等的牌号和规范。

本篇共分七章。第1章介绍有机介质电容器，包括纸介质、塑料薄膜介质、铝箔电极、金属化电极等品种。由于品种繁多，该章以生产技术和生产规模上最有代表性的浸地蜡金属化纸介质电容器和树脂浸封小型扁平金属箔塑料薄膜电容器为例，从而概括了切纸箔、卷绕、浸渍、涂漆、铝/锌金属化、电老炼等关键工艺。

由于电解电容器内容较多，故分为两章叙述。第2章介绍铝电解电容器，叙述了阳极箔腐蚀、阳极形成、电解质配制、装配、老炼等关键工艺。第3章介绍钽电解电容器，重点叙述钽块成型、绕结、阳极形成、固体和液体电解质、装配、老炼等主要技术。

第4章为云母电容器。介绍选片、芯组叠装、浸渍、装配工艺。重点介绍了提高电容量精度的措施。

第5章叙述可变电容器，包括空气、塑料薄膜介质、玻璃管微调、真空可变电容器等品种。重点介绍为达到设计精度的机加工和装配技术。

鉴于第1~4章中各种电容器在封装技术和参数测试方面具有共性，因此这方面的内容集中在6、7两章内叙述。第6章介绍金属玻璃/陶瓷密封、有机材料灌封和浇注包封、粘封、弹性体压封和密封性检验等技术。第7章主要介绍各种参数测试对精度和仪器的要求，每个参数分别介绍了几种方法或仪器，以供选用。

除此之外，对一些目前尚处于发展阶段、生产规模尚小的新产品，如片状电容器、钽箔和钽粉电解电容器、固体铝电解电容器、双电层电容器、云母纸和人造云母电容器、小型化塑料介质可变电容器等，均在有关章内作了适当介绍。