

⑦

# 电子工业技术词典

⑦ 厚薄膜电路

23  
-61c

国防工业出版社

# 电子工业技术词典

## 厚 薄 膜 电 路

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

国防工业出版社

## 内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》(试用本)的基础上作了较大修改和增补而编写的。本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照,书末附有英文索引,合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前,将先分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序,将视具体情况而定。

本分册是《词典》第七章厚薄膜电路的内容,它包括:厚薄膜集成电路的一般知识,主要的膜式元器件和材料,制造工艺和设备等的词汇。

## “电子工业技术词典”

### 厚薄膜电路

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 46千字

1976年6月第一版 1976年6月第一次印刷 印数:00,001—34,000册

统一书号:17034·29-4 定价:0.30元

## 前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- |                 |             |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础；         | 二、基本电子线路；   |
| 三、网络分析与综合；      | 四、电波传播与天线；  |
| 五、信息论；          | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路；        | 八、磁性材料与器件；  |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件；     |
| 十一、电线与电缆；       | 十二、电子管；     |
| 十三、半导体；         | 十四、电源；      |
| 十五、其它元器件；       | 十六、通信；      |

十七、广播与电视;

十九、导航;

二十一、电子对抗;

二十三、系统工程;

二十五、微波技术;

二十七、红外技术;

二十九、电声;

三十一、声纳;

三十三、电子测量技术与设备;

十八、雷达;

二十、自动控制与遥控、遥测;

二十二、电子计算机;

二十四、电子技术的其它应用;

二十六、显示技术;

二十八、激光技术;

三十、超声;

三十二、专用工艺设备与净化技术;

三十四、可靠性。

各章互有联系,并尽量避免章节间词汇的重复,故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录,正文中各词汇后附有英文对照,最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版,各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作,自始至终是在毛主席革命路线的指引下,在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主,自力更生”的伟大方针,坚持了群众路线,实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学三个三结合,以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限,加上时间仓促,虽然作了很大努力,但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处,恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

# 目 录

## 一、厚膜集成电路

|            |     |           |     |
|------------|-----|-----------|-----|
| 膜集成电路      | 7-1 | 厚膜电阻器     | 7-5 |
| 厚膜技术       | 7-1 | 氧化钨电阻器    | 7-5 |
| 厚膜混合集成电路   | 7-1 | 氧化铱电阻器    | 7-5 |
| 功率厚膜混合集成电路 | 7-1 | 二硅化钼电阻器   | 7-6 |
| 厚膜混合线性集成电路 | 7-1 | 碳-树脂电阻器   | 7-6 |
| 厚膜微波集成电路   | 7-1 | 钼-银电阻器    | 7-6 |
| 全厚膜化集成电路   | 7-2 | 金属树脂酸盐电阻器 | 7-6 |
| 厚膜基片       | 7-2 | 厚膜功率电阻器   | 7-6 |
| 多层基片       | 7-2 | 厚膜电容器     | 7-6 |
| 多层布线法      | 7-2 | 厚膜复合介质    | 7-6 |
| 厚膜浆料       | 7-2 | 多层厚膜电容器   | 7-7 |
| 触变性        | 7-3 | 厚膜微调电容器   | 7-7 |
| 掩模         | 7-3 | 调整        | 7-7 |
| 乳胶掩模       | 7-3 | 激光调阻      | 7-7 |
| 腐蚀全金属掩模    | 7-3 | 喷砂调阻      | 7-7 |
| 电铸全金属掩模    | 7-3 | 砂轮切割调阻    | 7-7 |
| 刀刻掩模       | 7-3 | 厚膜试样      | 7-7 |
| 丝网印刷       | 7-4 | 厚膜电感器     | 7-7 |
| 细线工艺       | 7-4 | 厚膜晶体管     | 7-8 |
| 细线分辨力      | 7-4 | 防护涂层      | 7-8 |
| 印贴工艺(印花工艺) | 7-4 | 焊接工艺      | 7-8 |
| 烧结         | 7-4 | 内接元器件     | 7-8 |
| 重烧性        | 7-4 | 外接元器件     | 7-8 |
| 喷涂         | 7-4 | 厚膜封装工艺    | 7-8 |
| 导电带        | 7-5 | 厚膜电路块     | 7-8 |
| 银迁移        | 7-5 |           |     |

## 二、薄膜集成电路

|          |     |              |      |
|----------|-----|--------------|------|
| 薄膜微电子学   | 7-9 | 薄膜分布参数微波集成电路 | 7-9  |
| 全薄膜化集成电路 | 7-9 | 薄膜集总参数微波集成电路 | 7-9  |
| 薄膜混合集成电路 | 7-9 | 钼膜电路         | 7-9  |
| 薄膜微波集成电路 | 7-9 | 方电阻          | 7-10 |

- 方数·····7-10
- 有效面积(薄膜电阻器的)·····7-10
- 功率密度·····7-10
- 比容·····7-10
- 自愈(薄膜电容器的)·····7-10
- 套蒸精度·····7-10
- 附着力(薄膜的)·····7-11
- 薄膜中的应力·····7-11
- 热应力·····7-11
- 本征应力·····7-11
- 电迁移·····7-11
- 淀积速率·····7-11
- 蒸发速率·····7-11
- 溅射率·····7-11
- 膜厚及其淀积速率的监控·····7-11
- 膜厚测量·····7-12
- 基片·····7-12
- 薄膜导体·····7-12
- 金导体·····7-12
- 铝导体·····7-12
- 钽导体·····7-12
- 钼-锰导体·····7-12
- 铬-钛导体·····7-12
- 薄膜电阻器·····7-13
- 铬膜电阻器·····7-13
- 钽膜电阻器·····7-13
- 镍-铬膜电阻器·····7-13
- 铬-硅系薄膜电阻器·····7-13
- 铍-镍膜电阻器·····7-13
- 氮化钛膜电阻器·····7-14
- 铈膜电阻器·····7-14
- 薄膜电容器·····7-14
- 氧化硅薄膜电容器·····7-14
- 氧化铌薄膜电容器·····7-14
- 氧化钽薄膜电容器·····7-14
- 氧化钇薄膜电容器·····7-15
- 氧化钪薄膜电容器·····7-15
- 氧化铝薄膜电容器·····7-15
- 氧化镍薄膜(阻挡层)电容器·····7-15
- 钛酸钡薄膜电容器·····7-15
- 聚对二甲苯膜式电容器·····7-16
- 聚四氟乙烯薄膜电容器·····7-16
- 氟化钽(铈、镨、钕)薄膜电容器·····7-16
- 叉指式薄膜电容器·····7-16
- 薄膜电感器·····7-16
- 薄膜二极管·····7-16
- 薄膜晶体管·····7-16
- 薄膜热电子器件·····7-17
- 硅膜集成电路(硅-蓝宝石器件)·····7-17
- 薄膜工艺·····7-17
- 基片清洗·····7-17
- 真空蒸发·····7-17
- 电子束蒸发·····7-17
- 反应蒸发·····7-18
- 瞬时蒸发·····7-18
- 离子束蒸发·····7-18
- 阴极溅射·····7-18
- 射频溅射·····7-18
- 反应溅射·····7-18
- 偏压溅射·····7-19
- 等离子体溅射·····7-19
- 离子束溅射·····7-19
- 共溅射·····7-19
- 双射频溅射·····7-19
- 吸气溅射·····7-20
- 液相溅射·····7-20
- 化学气相沉积·····7-20
- 原图制备·····7-20
- 分步重复照相·····7-20
- 超微粒银盐干版·····7-20
- 复印·····7-20
- 光致抗蚀剂·····7-21
- 光刻·····7-21
- 套刻·····7-21
- 阳极氧化·····7-21
- 热处理·····7-21

|                |      |                     |      |
|----------------|------|---------------------|------|
| 薄膜元件调整·····    | 7-21 | 膜混合集成电路的封装·····     | 7-25 |
| 金刚针压制调阻·····   | 7-22 | 同轴引出端金属空腔封装·····    | 7-26 |
| 激光调整·····      | 7-22 | 自动原图刻图机·····        | 7-26 |
| 电子束调阻·····     | 7-22 | 激光扫描绘图机·····        | 7-26 |
| 脉冲调阻·····      | 7-22 | 分步重复照相机·····        | 7-26 |
| 电化学氧化调阻·····   | 7-22 | 投影式掩蔽设备·····        | 7-26 |
| 直流火花放电调阻·····  | 7-22 | 电子束曝光机·····         | 7-26 |
| 辅助电极切割调容·····  | 7-23 | 等离子去胶机·····         | 7-26 |
| 溅射腐蚀·····      | 7-23 | 电子束蒸发设备·····        | 7-27 |
| 钝化(薄膜元件的)····· | 7-23 | 射频溅射设备·····         | 7-27 |
| 锡焊·····        | 7-23 | 双射频溅射设备·····        | 7-27 |
| 热压焊·····       | 7-23 | 溅射组合机组·····         | 7-27 |
| 球焊·····        | 7-23 | 超高真空无油蒸发设备·····     | 7-27 |
| 楔形焊·····       | 7-23 | 薄膜多源联动蒸发设备·····     | 7-27 |
| 针脚式焊·····      | 7-24 | 激光调阻机·····          | 7-27 |
| 超声焊·····       | 7-24 | 倒装焊键合机·····         | 7-27 |
| 热压超声焊·····     | 7-24 | 膜混合集成电路的热设计·····    | 7-27 |
| 超声倒装焊·····     | 7-24 | 电路平面布线设计·····       | 7-28 |
| 平行缝焊·····      | 7-24 | 大规模混合集成电路·····      | 7-28 |
| 贮能焊·····       | 7-24 | 薄膜多层布线·····         | 7-28 |
| 共熔焊·····       | 7-24 | 薄膜多层布线用导体·····      | 7-28 |
| 激光焊·····       | 7-24 | 薄膜多层布线用隔离介质·····    | 7-28 |
| 颠摆焊·····       | 7-25 | 一氧化硅薄膜多层布线·····     | 7-28 |
| 电子束焊·····      | 7-25 | 铝钼硼硅酸盐玻璃薄膜多层布线····· | 7-29 |
| 焊接玻璃·····      | 7-25 | 聚二甲基硅氧烷薄膜多层布线·····  | 7-29 |
| 梁式引线·····      | 7-25 | 光致抗蚀剂薄膜多层布线·····    | 7-29 |
| 梁式引线基片·····    | 7-25 | 聚酰亚胺薄膜多层布线·····     | 7-29 |

## 一、厚膜集成电路

### 膜集成电路

film integrated circuit (film IC)

指构成电路的元器件以膜的形式淀积在一绝缘基片上而形成的电路。它是厚膜集成电路和薄膜集成电路的总称。膜式有源器件尚未成熟,全膜化集成电路尚在研制中。因此,膜集成电路一般是指膜混合集成电路,即由膜元件和半导体元件,或膜元件和分立元件,或膜元件、半导体元件和分立元件混合组成的电路。

膜集成电路与单片集成电路各有特点,它们之间不一定总是取代关系,而在许多方面都是彼此互为补充。各种膜集成电路依据它们的特点已广泛用于通信、雷达、导航、计算机、遥控、遥测与制导、测量仪表、工业自动化、广播和电视等各个领域。

### 厚膜技术

thick film technology

是制造微型电路的一种方法。通常是指丝网印刷法。它类似蜡纸誊印的方法,即将各种浆料通过漏印网版印刷在绝缘基片上,再经烧结、调整等工序制成具有预定电性能的膜式元器件(导电带、电阻、电容、电感和晶体管等)。

厚膜的膜层厚度一般为几微米至几十微米。此外,等离子喷涂、火焰喷涂、印贴工艺等,都是新发展的厚膜技术。

### 厚膜混合集成电路

thick film hybrid integrated circuit

在厚膜技术上,除导电带和电阻器比较成熟之外,其他厚膜元器件的制备尚有许多问题,所以在厚膜电路中,经常内接分立元器件,如晶体管、二极管、电容器、电感器

等。这种由厚膜与分立元器件混合组成的电路,称厚膜混合集成电路。

厚膜混合集成电路设计灵活,生产周期短,元件的参数范围宽广,工艺适应性好,成本低廉,是目前大量采用的集成电路之一。

### 功率厚膜混合集成电路

power thick film hybrid integrated circuit

指输出功率较大的厚膜混合集成电路。一般认为,凡输出功率大于5瓦的厚膜混合集成电路,都称为功率厚膜混合集成电路。

功率电路中所用的元件,虽然本身具有较高的热稳定性,但为保证可靠地工作,必须采取合理的热设计和适当的散热措施。

厚膜元件在功率电路(如音频功率放大器、伺服放大器、多用途功率放大器、功率运算放大器、大功率交流-直流(直流-交流)变换器等)中的应用,是厚膜技术的重要发展方向之一。

### 厚膜混合线性集成电路

thick film hybrid linear integrated circuit

指用厚膜混合集成技术制作的线性集成电路。由于线性集成电路的品种繁多、专用性强、要求各类元件、特别是电阻、电容的参数范围宽、精度高、功率大,因此,用厚膜混合集成技术制作这类电路比较合适。

属于这类电路的有各类放大器(低频、中频、高频放大器、低噪声前置放大器、视频放大器和缓冲放大器等)、振荡器、混频器、有源滤波器和RC网络等。

### 厚膜微波集成电路

thick film microwave integrated circuit

采用厚膜工艺制作微带元件和微带线,再用混合集成电路技术制成的微波集成电路称为厚膜微波集成电路。根据电路设计原则分为集总参数电路和分布参数电路两种。

厚膜微波集成电路的优点较多,如成本低、工艺比较简单、元件参数范围宽、容易得到较厚的微带线。但是这种电路的工作频率不能过高,因基片比较粗糙和微带元件中的玻璃相会增大微波损耗。

厚膜微波集成电路的工作频率,目前可达数千兆赫。

### 全厚膜化集成电路

all-thick-film integrated circuit

全部由厚膜元器件组成并具有完整功能的单元电路块,称为全厚膜化集成电路。

这种电路是在绝缘基片上采用厚膜工艺制作导电带、电阻器、电容器、晶体管、二极管和电感器等来完成的。

目前,除导电带和电阻器之外,其他元器件的厚膜化还存在较多的问题,故全厚膜化集成电路仍处于研制阶段。

### 厚膜基片

thick film substrate

是厚膜元件、导电带以及分立元件的承载体。起着机械支撑、绝缘和导热作用。

对厚膜基片的要求是翘曲度小,机械强度高,化学稳定性好,热膨胀系数与厚膜元件匹配。对光洁度也有一定要求,过于光洁使厚膜元件对基片的附着力降低,但过于粗糙又要增加电阻噪声。

目前通常使用的是75%氧化铝瓷基片,它有机机械强度高、电性能优良、成本低等优点。此外,还有氧化铍、钛酸盐、氮化硼等陶瓷基片以及铁氧体和绝缘-金属基片等。

### 多层基片

multilayer substrate (multilayer composite substrate)

多层基片的结构类似于多层独石电容

器。其主要工艺过程是:将氧化铝瓷料或微晶玻璃料同有机粘合剂混合,轧成薄膜,按设计所要求的外形尺寸和内连接孔位冲片冲孔,印刷导电浆料,将各层迭合,压实,烧结。

所用导电浆料有铂、金、钯、钨、钼-锰等浆料,铂、金、钯可在空气中烧成,钨、钼-锰则需在保护气氛下烧成。

### 多层布线法

multilayer wiring method

是在丝网印制工艺基础上发展起来的一种内连接法。具体来说,就是在厚膜基片上先印第一层导电图案,烧结后在上面印绝缘层,焙烧后印第二层导电图案,按需要可做多层。各层布线间的互连是通过绝缘层中的金属化小孔来实现的。为了解决多次烧成的麻烦,正在发展一次烧成。

厚膜多层布线,是将复杂的内连接线全部埋在绝缘层中,这样可增加装配密度,减少焊点,提高可靠性。

这种布线法虽然有工艺简单和不要特殊设备的优点,但各种材料间的匹配问题尚待解决。

多层布线通常所用材料,基片为氧化铝陶瓷,绝缘隔离层为微晶玻璃或氧化铝,内层导电带为具有高触变性的金浆料或钨浆料,表层导电带为钯-金浆料。

### 厚膜浆料

thick film ink (thick film paste)

为适应丝网印刷工艺,须将各种厚膜材料与有机载体调制成一种粘稠的均匀悬浮液体。这种液体称厚膜浆料或涂料。

有机载体一般由有机粘合剂(如乙基纤维素)、有机溶剂(如松油醇)和着色剂等组成。

印制图案的清晰度、分辨力和膜厚的均匀性与浆料的性能有密切的关系,对浆料要求是:

(1) 浆料中的厚膜材料必须很细, 粒度一般在 2 微米以下;

(2) 浆料必须有合适的粘度和触变性;

(3) 浆料在印刷过程中应具有良好的物理稳定性。

目前, 厚膜浆料按功能大致可分为厚膜导电浆料、厚膜电阻浆料、厚膜电容浆料、厚膜隔离浆料和厚膜感光浆料五类。

厚膜导电浆料是由一种或多种金属细粉、玻璃细粉和有机载体混合而成。

厚膜电阻浆料是将电阻材料(如金属粉、合金粉、金属氧化物以及其他粉状材料)和玻璃细粉悬浮于有机载体中制成的。

厚膜电容浆料是介质浆料。通常是由各种瓷粉、玻璃细粉、微晶玻璃细粉和有机载体组成。

#### 触变性

thixotropy

胶体物质粘度随外力作用而改变的特性称为触变性。

具有触变性的厚膜浆料, 在丝网印刷过程中, 当受到橡皮刮刀的剪力时粘度降低, 有利于浆料通过丝网; 而当刮刀掠过后, 透印到基片上的浆料粘度升高, 不再流动。

#### 掩模

mask

在微电子技术中, 为了获得符合设计要求的元器件配置, 一般须通过物理、化学、光学等工艺手段, 在衬底上形成各种材料的几何图案。限定这种几何图案的工具, 通称掩模(掩蔽模版的简称)。在许多场合, 掩模亦称模板、样板或漏印板。

在薄膜工艺中, 一般使用两种掩模: (1) 光刻掩模, 亦称光刻底版。通常是在乳胶干版上, 用照相的方法, 根据掩模原图制成的, 相当于“照相负片”的模片。利用它可以将淀积的薄膜光刻成一定的图案。(2) 机械掩模, 亦称金属样版。通常是由金属箔采取腐

蚀、电镀等方法形成的。在淀积薄膜时, 把它覆盖在基片上, 以便得到所需的薄膜图案。

在厚膜工艺中, 常见的掩模有金属掩模、乳胶掩模和刀刻掩模等。

#### 乳胶掩模

emulsion mask

乳胶掩模工艺又称乳胶制板工艺, 分直接法和间接法两种。

直接法是直接在丝网上涂敷感光乳剂, 将其与照相原板直接重迭, 经曝光、显影、干燥, 即得掩模。间接法是将感光乳剂涂敷在薄膜(如涤纶薄膜)上, 用上述同样方法, 制得电路图形, 在膜还湿润的时候, 将其粘贴在丝网上, 膜干燥后, 撕下涤纶薄膜, 即得掩模。

#### 腐蚀全金属掩模

etching all-metal mask

在金属箔片一面腐蚀出深度为箔片厚度的  $1/2$  的网孔, 在另一面腐蚀出预定图案(深度稍超过箔片厚度二分之一), 这样所得的掩模称为腐蚀全金属掩模。

通常金属箔片用铝片。这种掩模具有耐用、印刷精度高、可印制细线等优点。

#### 电镀全金属掩模

electroforming all-metal mask

这种全金属掩模的金属网和掩模均用电镀方法制得。其工艺过程是: 首先在金属板(铜或不锈钢)上制网格, 即涂敷感光胶, 光刻, 电镀, 去胶, 然后再在设计图案部分涂胶, 光刻, 进行第二次电镀, 去胶后从金属板上剥离, 即得金属镍网与金属掩模形成一体的全金属掩模。

#### 刀刻掩模

knife-cutting mask

采用手工或机械方法, 在膜片上刻出设计的图案, 然后把它贴到丝网上, 称作刀刻掩模。

这是一种简便、经济的掩模制造法，但精度较差。

### 丝网印刷

screen printing

制造厚膜元件用的丝网印刷过程，类似于一般的蜡纸誊印法，即将绝缘基片置于掩蔽模版之下，用橡皮刮板推浆料，使之透过网孔，漏印于绝缘基片上。

### 细线工艺

fine line technology

印刷厚膜精密接线图的工艺称为厚膜细线工艺。目前，厚膜细线的线宽和间距约为0.05~0.1毫米。

厚膜细线工艺的主要内容是：

(1) 用光刻、电镀等方法制作精密印刷掩模；

(2) 配制能形成精密图案的高触变性印刷浆料（包括感光性浆料）；

(3) 严格控制印刷工艺和互连通孔的金属化技术等。

### 细线分辨力

fine line resolution

用某种工艺制出的膜式导电带（或电阻器），在保证本身通路、相邻导电带间不短路和工艺重复性的条件下，所能取得的最窄带宽和最小间隔，称为该工艺所能达到的细线分辨力。

### 印贴工艺(印花工艺)

printing-pasting technology

印贴工艺类似于美术瓷的贴花工艺，即先把厚膜浆料图案印到特殊的纸（或塑料膜片）上，干燥后把印有图案的纸反贴到基片上，随后烧成（纸或塑料碳化逸去）。

### 烧结

firing; sintering

厚膜浆料淀积在基片上以后，经置放、干燥，而后放入高温炉中烧结。烧结是制造厚膜微型电路的重要工序之一，亦称烧成。

在整个烧结过程中，发生有机溶剂挥发，有机粘合剂灼烧，玻璃粉料和材料的熔融、分解、化合等物理化学变化。元件质量与烧成曲线和烧结环境气氛有密切关系。

常用的烧结炉为传送带隧道炉，它具有生产连续性、效率高、控制精确、成品率高等优点。

### 重烧性

refiring capability

已经烧成的厚膜导电带、电极和厚膜元件，因工艺的需要，再经一次或多次烧结之后，其物理和化学性能的变化程度称重烧性。

厚膜导电带或电极的重烧性，主要与材料的热稳定性有关。

厚膜元件的重烧性，除与材料的热稳定性有关外，还与材料之间的相容性等因素有关。

### 喷涂

spraying

利用高温高压把金属、非金属或其化合物直接喷射到耐热基片上形成膜层的方法，通称为厚膜喷涂法。

常见的有等离子喷涂法和火焰喷涂法，其他还有爆炸喷涂法等。喷涂设备由特制的喷枪、盛料送料器、气体供给装置和电气控制等部分组成。

等离子喷涂法，是利用等离子反应所产生的巨大能量，形成高速的等离子体喷流，达到近10000℃的高温使各种材料在此等离子体中变成熔融状的微粒，喷涂到基片上形成膜层。

火焰喷涂，是在特制的喷枪中由氢氧焰形成高温，使材料熔融后被高压热气流喷到基片上形成膜层。

厚膜喷涂法具有一次成膜的特点，免除了浆料配制、丝网印刷和烧结过程，简化了工艺。此外还有取材广泛、膜层附着力强等优点。

**导电带**

## conductor

是由一种或多种金属细粉、玻璃细粉和有机载体等混合的厚膜导电浆料经印烧而成。它用来作为电路的内连接线、电阻终端、电容电极、各种焊接区、细导线以及厚膜电感器等。对导电带的要求是：导电性好、可焊性好、重焊性好、抗迁移力强、附着力强、烧成温度范围宽、重烧性好、抗老化、能做细导线、与厚膜元件的相容性好以及成本低等。

常见的厚膜导电材料有银、钯-银、金、金-钯和金-铂。此外，还有钯、钨、钨-钼、钼-锰、铜以及导电胶等。

常见的厚膜导电材料带性能比较表

| 材料名称 | 优 点               | 缺 点              |
|------|-------------------|------------------|
| 银    | 导电性最好，可焊性好，成本低。   | 易于迁移，抗氧化性差。      |
| 钯-银  | 导电性好，抗迁移力比银好。     | 钯含量高时，附着力和可焊性差。  |
| 金    | 导电性好，无迁移现象，抗氧化性好。 | 易溶于锡，附着力差。       |
| 金-钯  | 无迁移现象，抗氧化性好。      | 导电率较差，重烧性差，相容性差。 |
| 金-铂  | 迁移性小，重烧性好，抗氧化性好。  | 导电性差，成本高。        |

**银迁移**

## silver migration

金属银在电场和湿热等条件下，银离子缓慢移动的现象，通常称为银迁移，或称银离子迁移。

银迁移现象，在微型电路中起着破坏各种电性能的不良作用。由于银具有导电性、可焊性、导线连接性、与基片的附着力好等优点，它在厚膜电路中常用作导电带和电极材料。在银粉中加进适量的铂或钯（或铂-钯），能有效地抑制银迁移现象。

**厚膜电阻器**

## thick film resistor

指用厚膜电阻浆料（材料），通过印烧或喷涂等工艺，在基片上制得的膜式电阻器。

它具有阻值范围宽、功率大、成本低、工艺适应性好等优点。

常见厚膜电阻器有氧化钨、氧化铱、二硅化钼、碳树脂、钯-银等电阻系；其它还有氧化铈、氧化钬、硼化钼、铂-金-铱、钨-碳化钨、金属树脂酸盐、钛-氮化钛等电阻系。

厚膜电阻器的性能：

阻值范围

1 欧/方~10兆欧/方

电阻温度系数

$(\pm 50 \sim \pm 1000) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

稳定性(1000小时)

$10^{-2} \sim 10^{-3}$ 或更小

**氧化钨电阻器**

## ruthenium oxide resistor

氧化钨电阻器是由氧化钨电阻浆料经印刷、烧结而制成的。

氧化钨是一种高度稳定材料，加热到1000℃也不发生化学变化。它的烧成温度范围宽，一般可在空气中烧成，峰值温度范围为750~850℃；因烧结引致的阻值偏差较小，抗还原气氛的能力强；在长期加热或大功率负荷下也显示高度稳定，在数千小时试验后阻值改变一般为0.1~0.2%。因此，适于制作大功率电阻器。

氧化钨电阻方阻范围宽（10欧/方~10兆欧/方），电阻温度系数和噪声都很小。可以用掺杂（如五氧化二铌和银）改变氧化钨晶格结构，以控制电阻率和温度系数。

这种电阻材料成本较高。

**氧化铱电阻器**

## iridium oxide resistor

氧化铱厚膜电阻器的优点是稳定性好（比氧化钨电阻器更好），噪声低，精度高；缺点是价格昂贵。

氧化铱电阻器的性能是：

阻值范围

30欧/方~30千欧/方

电阻温度系数

$(\pm 100 \sim \pm 200) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

噪声  $< -10$  分贝  
 电压系数  $< 10 \times 10^{-6}/\text{伏}$   
 稳定性 (不加电压在  $150^{\circ}\text{C}$  下经 1000 小时的阻值变化) 小于 0.5%

### 二硅化钼电阻器

molybdenum disilicon resistor

这种厚膜电阻器, 浆料主要由二硅化钼细粉和玻璃粉组成, 具有价格低廉、原料丰富、制法简单等优点。采用二硅化钼, 为厚膜电阻生产开辟了一条代替稀、贵金属的途径。

二硅化钼电阻器的主要缺点是: 烧成温度范围窄; 在  $400^{\circ}\text{C}$  以上二硅化钼易分解; 对玻璃粉料有严格的选择性。

### 碳-树脂电阻器

carbon-resin resistor

是将碳粉均匀混合在树脂内制成电阻浆料, 印刷在基片上, 经  $200^{\circ}\text{C}$  左右的热聚合而制成的厚膜电阻器。一般方阻在几百欧到几十千欧之间。这种电阻器, 制备工艺简单, 成本很低, 但稳定性差。

### 钯-银电阻器

Palladium-silver resistor

钯-银电阻器是较早采用的厚膜电阻器。它的浆料一般是由钯粉、银粉、玻璃粉和有机载体组成。电阻器的烧成温度约为  $750^{\circ}\text{C}$ 。通常认为, 电阻器中的金属材料经烧结后, 形成了钯银合金和氧化钯。

这种电阻器的阻值范围较宽 (几十欧/方 ~ 几十千欧/方), 缺点是抗还原性较差。

### 金属树脂酸盐电阻器

metal resinate resistor

将制作厚膜电阻器所需的各元素制成硫化树脂酸盐、松脂酸盐或环烷酸盐, 亦可将贵金属制成硫醇化合物, 将它们溶于有机溶剂中, 经印刷、烧结制成的厚膜电阻器称金属树脂酸盐电阻器。

树脂酸盐在烧结过程中, 分解为贵金属、

金属氧化物和玻璃料的成分。因此, 这种电阻器的导电结构与其它厚膜电阻器相似。

树脂酸盐电阻器结构均匀; 阻值范围宽, 方阻可从几欧/方到几百千欧/方; 温度系数低, 一般小于  $\pm 250 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ; 噪声小; 电压系数低。缺点是: 合成工艺复杂; 成本较高; 某些原料及半成品有强烈的刺激性和毒性。

### 厚膜功率电阻器

thick film power resistor

额定功率大于 0.5 瓦的厚膜电阻, 通称为厚膜功率电阻器。

功率电阻器一般采用电阻率较低、热稳定性好的材料, 常见的有铂-金、钯-银、钨系、铌系。

功率电阻器所能承受的最大功率, 除与材料本身有关外, 还与所用的基片材料以及封装结构有极其密切的关系。采用高热导率的氧化铍基片以及其它散热结构, 可以提高电阻器的额定功率。

### 厚膜电容器

thick film capacitor

采用印烧或喷涂等方法, 依次将下电极、介质层和上电极制作在基片上, 经调整而成的膜式电容器称为厚膜电容器。

它可分为高频、低频两大类。高频电容器通常用玻璃陶瓷和低介微晶玻璃作介质, 介电常数约为 10, 损耗角正切在千分之几以下。低频电容器通常用高介微晶玻璃和复合介质, 介电常数在一千以上, 损耗角正切约为百分之几。

### 厚膜复合介质

thick film composition dielectric

用各种瓷粉与低温玻璃混合, 用厚膜工艺制成的介质, 通称为厚膜复合介质。

介质中的瓷粉主要用于提高材料的介电常数; 玻璃粉主要是为改善工艺条件 (如降低烧成温度) 和得到比较致密的介质膜。瓷粉和玻璃粉的比例不同, 就能得到不同介电

常数的复合介质。

### 多层厚膜电容器

multilayer thick film capacitor

为了提高电容量,在单层厚膜电容器的基础上,反复进行电极和介质的重迭印烧制得的电容器称多层厚膜电容器。

### 厚膜微调电容器

thick film trimmer

用机械转动或其它方法改变电极重叠面积来改变电容量的厚膜电容器称厚膜微调电容器。

常见的厚膜微调电容器的上电极由多个孤立的小岛构成,利用可动电极改变接触小岛数目即可改变容量。

### 调整

trimming

烧成后的厚膜元件,当精度不符合要求时,须进行调整。

电阻调整,可分阻值上升法和阻值下降法两种。目前广泛采用的是改变电阻的几何形状使阻值上升的方法。此外,也有用改变膜的内部结构(如高压脉冲调整)来调整阻值的。

常用的厚膜调阻手段是:喷砂、激光、砂轮切割等,其它还有超声波刻槽、电子束调整、电解氧化或还原、高频放电调整、电压(流)脉冲调整,以及导电胶调整等。

电容器调整是用改变上电极有效面积的方法来实现的。可以采用的手段是激光、高频放电、砂轮切割、辅助电极切割等。

### 激光调阻

laser resistor trimming

是用激光光束瞬间烧去厚膜电阻膜,形成极窄而清晰的沟槽,以增大阻值达到预定电阻精度的。常用的激光源,有掺钕钇铝石榴石固体激光器和二氧化碳气体激光器两种。

激光调阻的主要优点是:调整后对电阻

电性能的影响小,作业清洁,调整速度快,精度高。缺点是激光装置的成本较高。

### 喷砂调阻

air abrasive resistor trimming

是将颗粒度约为5微米的氧化铝(氧化镁或碳化硅等)粉粒,从喷嘴高速喷出,切削电阻膜,改变电阻的几何形状,使阻值上升到预定的要求的。

喷砂调阻装置简单,成本低。但由于膜表面局部破坏以及工艺沾污,致使噪声增大,因此调整范围不宜太大。

### 砂轮切割调阻

resistor trimming with emery-wheel cutting

指用金刚石刀具或小型砂轮磨削电阻器表面,使阻值上升的调阻方法。

砂轮切割调阻,设备简单。缺点是调整精度差,切削摩擦处产生高温和热应力,易导致电阻器稳定性变差或出现裂纹。

### 厚膜试样

thick film sample

为了鉴定厚膜导电带、电容电极、电阻、介质和绝缘隔离浆料的质量,对不同批次的材料须按正常工艺制作一定形状和数量的测试样品,简称试样。

厚膜试样的测定是保证产品质量的重要手段之一。所进行的性能测定项目是多种多样的,其中以导电带的细线工艺最多,主要有细线分辨力、方阻、附着强度、可焊性等。

### 厚膜电感器

thick film inductor

指用厚膜工艺在基片上制得的方形或圆形的螺旋状平面线圈。

所用的导体浆料,应适合印制细的、厚的长导电带(其截面要呈锐角形状),对基片应有良好的附着力。最常用的导体金属是金,有时也用钯银,但需浸锡。

厚膜电感器的主要性能是电感量、品质

因数和分布电容量。在线圈上下印烧磁性材料膜,可以提高电感量和品质因数。多次印制加厚导电带、增大相邻导电带的间距、浸锡或用高导电率浆料等方法,可减小分布电容和提高品质因数。

### 厚膜晶体管

thick film transistor

指采用厚膜印刷、烧结工艺制成的膜式晶体管。用硫化镉作为绝缘栅制成的场效应晶体管是其中的一种。厚膜晶体管目前尚处于研制阶段。

### 防护涂层

protective coating

为使制成的厚膜元件电气、机械性能稳定,减少或消除环境的影响,通常需在元件上覆盖一层防护涂层。常用的防护涂层材料有有机硅绝缘漆、环氧树脂、硅酮树脂、硅橡胶和低温玻璃等。

### 焊接工艺

bonding technology

见“薄膜集成电路”焊接工艺。

### 内接元器件

intraconnection element

由于一些元件和大部分有源器件的膜式化,目前还未进入实用阶段,因此将适应厚薄膜电路组装特点的具有特殊引出方式的分立元器件与膜电路组装在同一外壳内。这类分立元器件称为内接元器件。

目前,晶体管、二极管、电感器,厚膜

混合集成电路中的中、小容量的电容器,薄膜混合集成电路中的中容量的电容器,以及极小量的特殊电阻器,都是采用内接方式的分立元器件。

随着成膜技术的进一步发展和膜式元器件应用范围的扩大,内接元器件将会逐渐减少。然而,在现阶段,这种内接形式,确是具有现实意义的过渡方式。

内接元器件又称外贴元器件或移植元器件。

### 外接元器件

outward element

在厚、薄膜混合集成电路中,除膜式元件和内接元器件组装在外壳中外,有些线路,由于外壳体积的限制,需将某些体积较大的元器件(如大容量电解电容器、功率器件等)接在外壳的外面,才能具有完整的电路功能,这种接在外壳外面的元器件,称为外接元器件。

### 厚膜封装工艺

thick film package technology

见“膜混合集成电路的封装”和“同轴引出端金属空腔封装”。

### 厚膜电路块

thick film circuit block

在厚膜基片上,经成膜、调整形成各种预定性能的膜式元件,而后焊接内接元器件,再经外壳封装,遂构成一块有几个或十几个引出线的电路封装件,称为厚膜电路块。

## 二、薄膜集成电路

### 薄膜微电子学

thin film microelectronics

系指以固体物理、薄膜物理和无线电电子学为基础,研究淀积在绝缘基片上的薄膜无源元件、薄膜有源器件和由它们构成的薄膜集成电路的设计、工艺、测试、检验及生产的学科。

### 全薄膜化集成电路

all-thin-film IC

构成一个完整电路所需的晶体管、二极管、电阻、电容、电感和互连导体等,全部用薄膜工艺在绝缘基片上制成膜厚在1微米以下的薄膜,这种电路称为全薄膜化集成电路。

这种集成电路耐辐射性好,可靠性高。但是,薄膜有源器件性能差,制造工艺匹配困难等问题尚未解决,因而对全薄膜化集成电路还需进一步改进。

### 薄膜混合集成电路

thin film hybrid IC

薄膜混合集成电路一般称为薄膜集成电路。这种电路采用薄膜工艺制作薄膜电阻器、电容器、电感器、互连线、焊接端,另把分立的或片状的有源器件外贴到薄膜无源电路基片上。为了提高电路功能,降低成本和使电路设计灵活,除外贴有源器件外,还可以外贴无源元件(电阻器、电容器和调谐元件)和单片集成电路。

薄膜混合集成电路的精度高,性能好,抗辐射,与硅的相容性好,因而适用于高精度、高稳定、高可靠、低噪声和高频的线性集成电路和数字集成电路。

### 薄膜微波集成电路

thin film MIC

微波集成电路指工作频率范围为300兆赫到100千兆赫的集成电路。

薄膜微波集成电路,是采用薄膜工艺制作微波无源元件,再用混合集成电路技术制成的微波集成电路。根据电路设计原则分为集总参数电路和分布参数电路两种。

它的优点是可靠性高,成本低,重量轻,维护简单;但工作频率不能过高。

薄膜微波集成电路目前已用于放大、混频、振荡、滤波、移相和转换开关等各种电路中。

### 薄膜分布参数微波集成电路

thin film distributed constant MIC

采用薄膜工艺制作分布参数的微波元件,再用混合集成电路的方法制作成的微波集成电路,称薄膜分布参数微波集成电路。

### 薄膜集总参数微波集成电路

thin film lumped constant MIC

采用薄膜工艺制作集总参数的微波元件,再用混合集成电路的方法制作成的微波集成电路,称薄膜集总参数微波集成电路。

所谓“集总”,就是指元件的参数不随频率变化,这时电磁波在整个元件上没有相移。要使元件在某一频率下保持“集总”特性,元件的几何尺寸必须大大小于该频率下的波长,一般约小于波长的 $1/10 \sim 1/16$ 。薄膜集总参数微波集成电路在1~12千兆赫频率范围内有体积小,重量轻,成本低,性能好等优点。有时,它也和薄膜分布参数微波集成电路混合使用。

### 钽膜电路

tantalum film circuit

用单一原材料钽,采用溅射或反应溅射