

《电子封装材料与工艺》

学习笔记

整理: Anndi QQMAIL: 1808976@QQ.COM 来源: 电子胶水学习指南 (www.g4e.cn)

本人主要从事 IC 封装化学材料 (电子胶水) 工作, 为更好的理解 IC 封装产业的动态和技术, 自学了《电子封装材料与工艺》, 貌似一本不错的教材, 在此总结出一些个人的学习笔记和大家分享。此笔记原发在本人的“[电子胶水学习指南](#)”博客中, 有兴趣的朋友可以前去查看一起探讨之!

前言及序言 (点击链接查看之)	-----1
第一章 集成电路芯片的发展与制造	-----2—3
第二章 塑料、橡胶和复合材料	-----4—8
第三章 陶瓷和玻璃	-----9—12
第四章 金属	-----13—17
第五章 电子封装与组装的软钎焊技术	-----18—27
第六章 电镀和沉积金属涂层	-----28—30
第七章 印制电路板的制造	-----31—36
第八章 混合微电路与多芯片模块的材料与工艺	-----37—45
第九章 电子组件中的粘接剂、下填料和涂层	-----46—49
第十章 热管理材料及系统	-----50—54
个人感慨	-----54

第一章 集成电路芯片的发展与制造

1、原子结构：原子是由高度密集的质子和中子组成的原子核以及围绕它在一定轨道（或能级）上旋转的荷负电的电子组成（Neils Bohr 于 1913 年提出）。当原子彼此靠近时，它们之间发生交互作用的形成所谓的化学键，化学键可以分成离子键、共价键、分子键、氢键或金属键；

2、真空管（电子管）：

a.真空管问世于 1883 年 Edison（爱迪生）发明白炽灯时，1903 年英格兰的 J.A.Fleming 发现了真空管类似极管的作用。在爱迪生的真空管里，灯丝为阴极、金属板为阳极；

b.当电子管含有两个电极（阳极和阴极）时，这种电路被称为二极管，1906 年美国发明家 Lee DeForest 在阴极和阳极之间加入了一个栅极（一个精细的金属丝网），此为最早的三极管，另外更多的电极如以栅极和帘栅极也可以密封在电子管中，以扩大电子管的功能；

c.真空管尽管广泛应用于工业已有半个多世纪，但是有很多缺点，包括体积大，产生的热量大、容易烧坏而需要频繁地更换，固态器件的进展消除了真空管的缺点，真空管开始从许多电子产品的使用中退出；

3、半导体理论：

a.在 IC 芯片制造中使用的典型半导体材料有元素半导体硅、锗、硒，半导体化合物有砷化镓（GaAs）、磷砷化镓（GaAsP）、磷化铟（InP）；

b.二极管（一个 p-n 结），当结上为正向偏压时可以导通电流，当反向偏压时则电流停止；

c.结型双极晶体管：把两个或两个以上的 p-n 结组合成一个器件，导致了晶体管的出现，晶体管是一种能够放大信号或每秒开关电流几十亿次的器件。最初的器件使用点接触穿入锗半导体本体，随后的晶体管使用锗作为半导体的结（双极）型晶体管，锗这种半导体材料后来被硅所代替；（基极 B 发射极 E 集电极 C）

d.场效应晶体管（FET）（源区、漏区、栅区）

e.结型场效应晶体管（JFET）：电子不穿过 p-n 结，而是从两个 p 型半导体之间形成所谓的 n-沟道从源极向漏极流动，n-沟道作为晶体管的输出部分，而栅到源的 p-n 结是输入部分；

f.金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET），它是以 JFET 晶体管同样的原理进行工作的，但使用

施加在内建电容器两端的输入电压来控制源极到漏极的电子流动

g.互补型金属氧化物半导体场效应晶体管:当两个 MOSFET 晶体管(一个是 n-p-n 型,另一个是 p-n-p 型)连接在一起时,这种组合结构叫做互补型 MOSFET 或互补型金属氧化物半导体场效应晶体管(CMOSFET),其优点是使电路简化(不需要负载电阻)、很低的功率耗散以及产生一个与输入信号反向的输出信号的能力;

4、集成电路基础:

一个集成电路(IC)芯片是把元器件连在一起的集合体,在一个单片半导体材料上制造出一个完整的电子电路。第一块 IC 的构思和建造应该归功于 Texas Instruments 公司的 Jack Kilby 在 1958 年的工作。每门的功率与特征尺寸呈线性变化,而每个芯片的功耗 P 却主要受到与特征尺寸二次方成反比的影响,如下式所示: $P=f(\text{频率}, C, V^2, \text{门数})$,其中频率为时钟频率、C 为电容、V 为电压、门数为芯片面积/特征尺寸的平方;

5、集成电路芯片制造:

a.晶锭的生长与晶圆片的制备:硅的熔点 1415°C ,切克劳斯基(Czochralski CZ)法是最常用的生长硅锭的方法,晶锭的形状包括在籽晶端形成的一个很细的圆形缩颈(直径约 3.0mm),然后是大的圆柱体和带有一个钝尾的端部,晶锭的长度和直径取决于轴的旋转、籽晶的提拉速度、硅熔体的纯度与温度等,晶锭的尺寸有多种多样,直径从 3in(75mm)到 12in(300mm),最长的长度约为 79in(2m),晶锭的生长速率约为 $2.5\sim 3.0\text{in/h}$ ($63.5\sim 76.2\text{mm/h}$)。然后将硅晶锭切成晶圆片并进行磨边、抛光、打标等处理;

b.洁净度:净化间是按照 1ft^3 (0.0283m^3)空气中允许有多少直径在 0.5um 的颗粒物来分级的,一般可分为 1 级~100000 级,例如 1000 级净化间是在 1ft^3 空气中有 1000 个尺寸为 0.5um 的颗粒物,对于 IC 制造来说,净化间的范围在 1 级~1000 级,主要取决于工艺的需要;

c.集成电路制造:

氧化→光刻→扩散→外延→金属化→钝化→背面研磨→背面金属化→电性能测试→管芯分割(详细情况可参看《芯片制造工艺制程实用教程》内相关笔记)

第二章 塑料、橡胶和复合材料

1、基础部分：

a.聚合物的定义：聚合物是由大量称之为单体的小分子连在一起形成的大分子，把这些单体连在一起所涉及的工艺称之为聚合，长分子链包括氧、氢、氮、碳、硅、氯、氟和硫等；

b.聚合物的类型：

■加聚物和缩聚物；

■线型、支化、晶体、非晶体、液晶共聚物、橡胶及聚合物合金；

■橡胶、热固性、热固性

c. 合成方式:本体聚合 (MWD 较宽)、溶液聚合、乳液聚合 (MWD 较窄)、悬浮聚合 (MWD 相对窄)。 MWD-分子量分布；

d.相关术语：

■塑料术语：B 阶、NEMA 标准、pH 值、包封、表面电阻率、玻璃化转化点、薄膜粘接剂、储存寿命、触变、促进剂、催化剂、弹性模量、弹性体、低温流动 (蠕变)、电容、电阻率、放热反应、放热曲线、工作寿命、功率因子、固化剂、固化时间、固化、灌注、化合物、加速剂、交联、介电常数 (介电系数或电容率)、介电功率因子、介电强度、介电损耗角 (介质相差)、介电损耗因子 (介电损耗指数)、介电损耗、介电系数、介电相角、浸渍、晶态熔点、聚合、聚合物、绝缘电阻、抗弯模量、抗弯强度、老化、硫化、洛氏硬度、埋置、模塑、耐潮性、耐电弧性、耐电强度 (介电强度或击穿强度)、粘度、凝胶、膨胀系数、起泡剂、热变形点、热导率、热封、热固性树脂、热熔粘接剂、热塑性树脂、溶剂、润湿、邵氏硬度、适用期、树脂、水解、塑料、损耗因子 (损耗正切、近似功率因子)、碳氟化合物、体积电阻率 (比绝缘电阻)、填料、烃、涂覆、维卡软化温度、吸湿、吸水率、橡胶、抑制剂、应变、应力、硬化剂、有机物、增韧剂、增塑剂、粘接剂、粘结强度、直接粘接、注塑；

■电绝缘性能术语：介电强度 (数值越高绝缘性越好)、电阻和电阻率 (数值越高绝缘性越好)、介电常数 (对高频或功率用途, 较低的介电常数最好)、功率因子和损耗因子 (数值越低越好, 表明系统的效率高, 损耗小)、耐电弧性 (越高越好)、相对击穿指数 (CTI)；

2、热塑性塑料

a.丙烯酸树脂: 供应商有 Dupont、Dow chemical、Exxon、GE、ICI Acrylics、Asahi、BASF ;

b.氟塑料:

■聚四氟乙烯 (PTFE)、四氟乙烯-六氟乙烯共聚物 (FEP)、全氟烷氧基 (PFA)、乙烯-四氟乙烯共聚物 (ETFE)、聚偏二氟乙烯 (PVDF)、聚三氟氯乙烯 (PCTFE)、乙烯-三氟氯乙烯共聚物 (ECTFE) 和聚氟乙烯 (PVF) ;

■用途: 涂层、薄膜、套管、光纤和载带 ;

■供应商: ELF Atochem、Dupont、Dyneon、Creanova、Solvay、Ausimont ;

c.酮树脂 (醚键-O- , 酮键 R2-C=O):

■聚醚酮 (PEK)、聚醚醚酮 (PEEK)、聚醚酮醚酮酮 (PEKEKK) ;

■用途: 导线和电缆绝缘层以及连接器 ;

■供应商: Solvay、Shell、Vicat ;

d.液晶聚合物 (LCP):

■Xydar (Solvay Advanced Polymers , LLC)、Vectra (Ticona Corp.)、Zenite (E.I.Dupont de Nemours&Co.) ;

■用途: 模塑高精度的复杂零件、片式载体、插座、连接器、PGA、线圈和继电器壳体 ;

e.尼龙 (聚酰胺) (-CONH-):

■已有 12 种不同类型尼龙、10 种是脂肪族的、2 种是芳香族的。除此之外还有 Nomex[(聚)1,3-亚苯基间苯二甲胺]和 Kevlar[(聚)1,4-亚苯基对苯二甲胺];

■用途: 板卡导槽、连接器、接线盒、天线架、线圈和插头 ;

■供应商: Honeywell、Quadrant、Dupont、Elf Atochem、Bayer ;

f.聚酰胺-酰亚胺 (-CONH- -CONCO-)

模塑制品的应用包括电子连接器和喷气发动机分量发电机零件, 溶液形式聚合物用于漆包线和各种电子应用, 供应商包括 Quadrant 和 Solvay);

g.聚酰亚胺 (-CONCO-): Kapton、Vespel、Pyralin、PyreML

h.聚醚酰亚胺: GE plastic 的 Ultem ;

i.聚芳酯和聚酯:

■聚芳酯 PA、聚对苯二甲酸丁二醇酯 PBT、聚对苯二甲酸乙 二醇酯 PET、聚对苯二甲酸环己烷-二

甲酯 PCT ;

■用途: 连接器、继电器壳体、线圈、开关和熔断器盖、灯座、线圈管、接线盒、插座、PGA、片式载体、表面安装元器件 ;

■供应商: Eastman、Honeywell、Bayer、Dupont、Dow Chemical、GE、Ticona、Creanova ;

j.聚碳酸酯: 主要用于连接器、断路器盒和线圈, 供应商包括 Bayer、Dow Chemical 和 GE ;

k.聚烯烃: 主要用于导线和电缆的绝缘层, 供应商包括 Eastman、Quadrant、Honeywell、Elf Atochem、Dupont、Dow Chemical、Nova Chemical、Equistar ;

l.聚苯醚 (PPO): Noryl 和 PreveX , 用途包括计算机、连接器、熔线盒、继电器和母线绝缘 ;

m.聚苯硫醚 (PPS) 主要用于电连接器、线圈管、线圈、三通和端子板, 供应商包括 Chevron Phillips、GE、Ticona 和 Toyobo ;

n.苯乙烯类聚合物:

Elf Atochem

■丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 ABS、丙烯酸苯乙烯丙烯腈 ASA、聚苯乙烯 PS、苯乙烯-丙烯腈 SAN、苯乙烯-丁二烯 SB、苯乙烯-马来酸酐 SMA;

■除电器壳体外, 这些聚合物并不用于电气用途 ;

■供应商: Chevron Phillips、Elf Atochem、Bayer、Dow Chemical、GE、Creanova ;

o.聚砜: 聚砜、聚芳基砜和聚醚砜, 用途包括印制电路板、电视元器件、线圈、连接器和开关壳, 供应商包括 Solvay 和 BASF ;

p.乙烯基树脂 (-CH₂-CHCl-):

■聚氯乙烯 PVC、聚偏二氯乙烯 PVDC、氯化聚氯乙烯 CPVC ;

■用途: 导线绝缘层、电缆外壳、套管和配管 ;

■供应商: BASF、Creanova、Eastman、Dow Chemical、Elf Atochem、Geon 和 Solvay ;

q.热塑性聚合物合金和共混物 :PPO/PS、Nylon/ABS、Nylon/橡胶、PPO/Nylon、ABS/PC、PPB/PBT、聚酯/橡胶、PC/PBT&PET、ASA/PC、PET/PBT、乙酸酯/橡胶、SMA/ABS、聚砜/ABS、PEEK/PES、PC/TPU、Nylon/PE;

3、热固性塑料:

a.烯丙基树脂(CH₂-CH=CH₂):是基于邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)和间苯二甲酸二烯丙酯(DAIP)

单体和预聚物。主要用于在通讯、计算机和空间系统的连接器，绝缘开关、片式载体和电路板，主要供应商有 Cosmic Plastics 和 Rogers；

b.双马来酰亚胺(BMI):工作温度在 200~232°C之间，以粉末或在极性溶剂中以溶液的形式销售，主要用于印制电路板基板；

c.环氧树脂：可以用环氧树脂配制得到保形涂层、粘接剂和清漆并在电气工业中用作线圈、连接器和片式载体以及作为印制电路板的集体树脂，供应商包括 Dow Chemical、Vantico 和 Resolution Performance Products；

e.酚醛树脂：甲阶酚醛树脂（碱催化）和线性酚醛树脂（酸催化），用作片式载体、连接器、线圈以及印制电路板基板的基体树脂，供应商包括 Durez、Plenco 和 Rogers；

f.聚酯(-COOR-) :用途包括线圈、端子板、连接器和壳体，供应商包括 Bayer、Creanova、DSM、Dupont、Eastman Chemical、GE plastics、Honeywell 和 Ticona；

g.聚氨酯(-RNHCOOR-):氨基甲酸酯用作保形涂层来包封敏感的电子元件，供应商包括 Bayer、BASF 和 Dow chemical；

h.硅橡胶：是一种沿着聚合物链的主链硅、氧原子交替组成的聚合物，主要用于漆包线、层压板、套管和热缩性棺材、电子元件的密封、保形涂层和清漆，供应商包括 Dow-Corning 和 GE silicones；

i.交联热塑性塑料：典型的能够交联的聚合物包括聚烯烃、氟塑料、乙烯基树脂、氯丁橡胶和硅橡胶，用途包括热套管、地下电缆绝缘层和微波绝缘；

j.氰酸酯树脂(-O-C-N) :应用于印制电路板的基板和天线屏蔽器结构，供应商包括 Vantico；

k.苯丙环丁烯(BCB):具有低的介电常数、低的吸水率、良好的热稳定性、高的粘接性和良好的平整度和耐化学性，供应商主要为 Dow chemical；

4、橡胶：

a.橡胶的性能：橡胶区别于其他树脂的特性是它能够承受很大的变形（为未伸长时的 5-10 倍）并能够自然恢复到原始的尺寸而不破坏；

老化、蠕变、硬度、滞后、低温性能、抗撕裂性、抗拉强度、延伸率和弹性模量；

b.橡胶的类型：

NR 天然橡胶、聚异戊二烯

IR 合成聚异戊二烯

ABR	丁二烯芳基化合物
BR	聚丁二烯
CO	环氧氯乙烷橡胶
COX	丁二烯-丙烯亚硝酸酯
CR	氯丁二烯、氯丁橡胶
CSM	氯磺化聚乙烯
EPDM	二烯型三元乙丙胶
EPM	二元乙丙胶
FPM	氟化共聚物
IIR	异丁烯、异戊二烯共聚物、丁基橡胶
NBR	丁二烯-丙烯腈、丁腈橡胶、布纳 N
PVC/NBR	聚氯乙烯与 NBR
SBR	丁苯橡胶、GRS、布纳 S
SI(FSI,PSI,VSI,PVSI)	硅橡胶
T	聚硫橡胶
PU	聚氨酯

c.热塑性橡胶 (TPE) : 苯乙烯系嵌段共聚物、聚烯烃系 TPO、橡胶合金、热塑性聚氨酯 TPU、热塑性共聚多酯和热塑性聚酰胺 ;

5、聚合物的应用 :

a.层压板 (PWB)

b.模塑和挤出

c.注塑和灌注

d.粘接剂

e.有机涂层 (MIL-I-46058 指定了五类保形涂层 : 丙烯酸、环氧、聚氨酯、硅橡胶和对二甲苯聚合物 , 还能比考虑的有聚酰亚胺、邻苯二甲酸二烯丙酯、苯并环丁烯等)

第三章 陶瓷和玻璃

1、简介：

a.几乎所有的电子市场都能用到玻璃和陶瓷技术，在无线和微波频率范围内，采用低介陶瓷或玻璃基介质的低信号衰减电子数据传输是很常见的；

b.高介电常数的电绝缘陶瓷是蓄能电容器的重要组成部分，占有最大的市场；

c.随着电子工业的发展，铁氧体陶瓷的应用领域不断扩大，包括了电感器、变压器、永磁铁、磁-光器件、机械电子器件以及微波电子器件等；

2、用于微电子的陶瓷互连：陶瓷互连技术在设计灵活性、密度、可靠性方面独具优势，这些陶瓷材料本身固有优点使它成为高密度、高可靠应用的首选材料，陶瓷封装可分为以下几大类：(Si的热膨胀系数为 3.5ppm，GaAs的热膨胀系数为 7.5ppm)

a.薄膜：陶瓷基板上薄膜金属化的开发主要是利用了陶瓷基板高的电路密度、淀积和蚀刻金属的尺寸精确、高导热率及高机械稳定等特点（常用基板有高纯氧化铝、玻璃、多层陶瓷和磁性陶瓷；薄膜材料有金、银、铜、铝、TaN、Ta₂N、NiCr等；淀积方法有蒸发、溅射、电镀、化学气相沉积CVD等。）

b.厚膜：厚膜技术最简单的形式是利用丝网印刷技术在致密的陶瓷基板上淀积金属电路，在金属中添加玻璃和氧化物有助于金属在相对低的温度下（600~950℃）致密化和与基板粘接。（金属，介质、电阻及铁氧体浆料是由有机载体、金属或氧化物粉料及玻璃料组成的）

c.多层封装：多层陶瓷技术允许将多个电路安装在一个单独的气密封装中，这种包含埋置元件的结构，提供了在同一介质中建立带状线和微带线的方法，增加了设计的灵活性；

d.高温共烧陶瓷（HTCC）：流延生瓷带—冲切—冲孔—填充通孔—丝网印刷—叠层/层压—分离成形—共烧—镀镍—钎焊—镀NiAu；

e.低温共烧陶瓷 (LTCC): 低温共烧陶瓷技术是以无机材料为基础, 用作含有多个密集电路布线及组装电子元器件层的壳体材料, LTCC 采用了高温共烧陶瓷和多层厚膜基板的技术和制造工艺, 基本流程为下料—通孔成形—通孔填充—电路印刷—形成腔体—叠片—层压—烧结—后加工;

3、电容器:

电容器具有能量储存、电流阻断、电噪声过滤、高频调谐等功能(最初的莱顿瓶), 1942 年 American Lava 公司发现 $BaTiO_3$ 的铁电行为并广泛用于陶瓷电容器。

a. 根据材料分类: 聚合物薄膜电容器、电解电容器、钽电容器、云母电容器、陶瓷电容器、多层陶瓷电容器、厚膜电容器、薄膜电容器;

b. 根据电容值及温度敏感性分类: 1 类电容器室温度和时间高度稳定, 并具有低损耗的电容器 (例如不老化), 一般由钛酸盐或钽制成; 2 类电容器是容易受到温度、时间和频率影响的电容器, 一般由较高介电常数的材料制成;

c. 添加物的作用: 一般来说介电性能随温度急剧变化是不实用的, 通过添加能在其结构中形成固溶体的材料进行改性, 通过施主离子及受主离子置换、晶格中氧空位之类的载流子存在等产生作用。

4、机电陶瓷: 机电材料是一类引起关注的物质, 他们具有从机械刺激产生电信号 (无源器件) 或者通电产生机械位移 (有源器件) 的能力。

a. 压电材料: 天然晶体石英、Rochelle 盐、 $BaTiO_3$ 、钛酸铅、铌酸铅、PZT (锆钛酸铅)、聚偏氟乙烯等的压电效应;

b. 铁电材料: 铁电现象是由于偶极子相互作用并自发排列的结果, 常见物质有 $BaTiO_3$ 、 $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT)、 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (PMN)、 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (PZN)、 $(Sr,Ba)Nb_2O_6$ 、 $PbNb_2O_6$ 、 $LiNb_2O_6$;

c.电致伸缩材料：最近开发的复杂钙钛矿结构导致了一类新的机电材料产生，即电致伸缩材料。纯电致伸缩材料是顺电荷中心对称的，也就是说，它们没有极轴，并且一般式立方结构，最有价值的电致伸缩材料是工作温度高于或接近转变温度的铁电材料，这种电致伸缩效应是一种二级现象，凭借外电场会导致材料晶格扭曲和机械扭曲；

d.机电材料：“硬”压电材料，在转变温度以下工作性能很好，其压电相高温稳定，并按照高矫顽力合最小畴壁运动来配制，这种材料是最常见的机电材料，常用于无源和有源声纳和许多需要高矫顽力及稳定响应的商业应用中；

e.机电材料的应用：机电材料能为电能和机械能之间提供一种耦合，尽管其机械位移相当小，但這些材料却能产生相当大的电能和机械能：丰田电子调制悬挂系统(TEMS)、水声发射器、声纳发射器、医学成像用超声波换能器等等；

5、电光材料:简单的说电光效应就是一种随外加电场变化的光学特性，也就是折射率随外加电场变化。这种折射率变化相当小，但足以调制透射光的相位和强度。

a.电光效应就是电场诱发的各向异性，折射率和外加电场是一种非线性关系（Kerr 效应）；线性电光效应（Pockels 效应）

b.材料：所有的电光材料都是铁电物质，也就是说，它们在 T_c 以下会自发极化，PLZT 合成物，透明度也是电光材料的一个关键需要；

c.应用：电光行为可分为三类：记忆、线性、二次方关系，应用于光学快门、电光薄膜器件、光学储存和显示应用；

6、磁性陶瓷：磁性陶瓷不同于磁性金属之处在于它们是具有低磁矩、高电阻及性能与微观结构密切相关的氧化物。一些类型的磁性陶瓷、铁磁体及亚铁磁体材料呈现出剩余感应行为。

- a.尖晶石：一般化学式为 MFe_2O_4 ，尖晶石晶体结构中每个晶胞包含 8 个化学式单元，其中氧离子形成一个立方密堆阵列；
- b.石榴石：其一般结构为 M_3FeO_{12} ， $(3M_2O_3)(2Fe_2O_3)(3Fe_2O_3)$ ，其中 M 为三价稀土或钇离子。
- c.钙钛矿：钙钛矿铁氧体的一般化学式为 $MFeO_3$ ，其中 M 为稀土元素或 Y^{3+} 、 La^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 等离子；
- d. 六方晶系铁氧体：其一般化学式为 $MFe_{12}O_{19}$ ，其中 M 为 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 或 Pb^{2+} ；
- e.应用：移相器（电子扫描相控阵雷达 ESA）、磁泡存储器...

7、超导陶瓷：

- a.在 20 世纪 50 年代，Frohlich 和 Bardeen 建立了超导理论，认为这是由耦合电子对的电子与声子相互作用的结果，这种配对仅发生在低温，因为只有低温电子的热运动才会大大降低；
- b.陶瓷超导体的特性高度依赖于载流子的浓度，因此其特性由材料的相纯度、晶体结构、化学组成及缺陷结构决定；
- c.超导材料的应用越来越多，大多数应用均可归属于三类功能中的一个：低损耗输电、产生高磁场以及供电用的大电流导体；
- d.应用：NMR 核磁共振、超导量子干涉器件 SQUID、HTS 线、Super Filter 系统等

8、光纤：

数据通过光在玻璃中传播，而不是电子在金属线中传播。光纤传输数据具有更高的频率、更高的速度及更大的容量，而且也不存在与金属线有关的电磁干扰问题。需致力于降低光衰减的程度。衰减是光吸收及光在不同方向上的二次散射—雷利（Rayleigh）散射的结果。Corning 和 Lucent 公司控制着全球 70% 的光纤市场，并努力提高光纤的传输速率和容量。

第四章 金属

1、金属和合金的选择：

a.金属因其具有各种各样的物理和力学性能而在电子和电气工业中得到广泛的运用，电子设备对材料要求是多方面的，因此在选择金属时要进行多方面的权衡；

b.选材判据：选材要从与力学和物理性能有关的功能要求方面来考虑，可制造性和经济性也总是要考虑的因素；

c.成分：化学成分是金属最常给出的技术指标。它决定了金属基本的力学性能和物理特性，制造方法和热处理将影响这些性质，但是化学成分决定了最基本的特性；

d.产品形式：铸造形式和锻造形式：

■铸造金属：通过把熔融的金属浇入所需要形状的模内而制成；半固态金属加工技术和金属注射成形（MIM）技术是一些新的特殊铸造工艺；

■可锻金属：挤压、拉拔、锻造、轧制

e.强化机理：加工硬化、沉淀硬化、相变硬化；

f.力学性能：交变载荷（疲劳）、持续载荷、温度影响；

g.物理性能：冷加工、热处理、温度

h.制造考虑：可成形性、可机械加工性、连接、可焊接性、硬钎焊、软钎焊；

2、金属及其数据比较：

屈服强度、弹性模量（杨氏模量）、比刚度（弹性模量除以密度）、比强度（强度除以密度）、热导率（银铜金铝）、电阻率、吸热能力

3、铁基合金：铁元素的含量大于或等于 50%的合金被称为铁基合金，当然特殊的铁基合金铁含量也可能低于 50%，以机械用钢为例可分为：碳素钢、合金钢、高强度低合金钢、超高强度钢、轧制热处理钢、特殊用钢；

a.常用铁基合金：

■碳素钢和合金钢：采用美国钢铁协会（AISI）和汽车工程师协会（SAE）建立的钢号系统；

■不锈钢和特殊钢：不锈钢是含至少 11%左右的 Cr 的铁基合金(马氏体、奥氏体和沉淀硬化)；

■磁钢：高磁导率合金、永磁合金、不锈钢、温度补偿合金；

b.铁基合金的磁学性能：

- 镍铁合金：这种合金包含 30-80%的镍，其他的成分为 Fe；
 - 80Ni, 4Mo, 余 Fe 合金：这种合金被认为具有最高的初始磁导率，经常使用的是它对非常低的磁化力的响应，商品名是 4-79Permalloy、HyMu 802、Hipernom；
 - 77Ni, 1.5Cr, 5Cu, 余 Fe 合金：具有高的初始磁导率，常被称作 Mumetal；
 - 49Ni, 余 Fe 合金：有可能生产出有相当高的起始磁导率和较高磁饱和的产品；
 - 硅铁合金（硅钢片）：价格低且可用于电能相当大的系统；
 - 钴铁合金：在 AC 和 DC 应用中具有高的磁饱和及相对低的矫顽力；
 - 商用铁和商用纯铁；
 - 永磁合金：常用磁学参数（矫顽力 H_c 、退磁曲线、磁能积 BH_{max} 、剩余磁感应强度 B_r 、稟性曲线 $B-H$ ），铁氧体永磁（陶瓷永磁） $M.6Fe_2O_3$ ；
 - 不锈钢：铁素体不锈钢（400 系列）和奥氏体不锈钢（300 系列），其中前者还可分为马氏体不锈钢（可硬化）和铁素体不锈钢（不可硬化）
 - 温度补偿合金：当铁镍合金中镍的含量增加到 29%以上，居里温度就会升高，商用合金中如果镍含量在 29-39%之间，就被作为温度补偿和合金使用；
- c.铁基合金的热膨胀性能：当温度升高到 25°C 以上时，所有的金属都会膨胀，当温度降低时会收缩，膨胀和收缩的速率取决于化学成分和物理状态；
- 镍铁合金和相关合金：含有 36Ni、余量 Fe 的合金（Invar 合金）是所有金属（合金）中膨胀系数最小的；
 - 不锈钢（铁素体和奥氏体）：铁素体不锈钢的热膨胀性能参数都比不大于 49%镍的镍铁合金系更大，奥氏体不锈钢具有非常高的膨胀系数；
 - 玻璃-金属封接合金：铬铁合金（430、430Ti、446 型）、铁镍合金、（42Ni、6Cr、余 Fe 合金）、（28Ni、17Co、余 Fe 合金）、中低碳钢；
- d.铁基合金的加工性能：深拉、焊接、光化学加工、陶瓷-金属封接合金、弹性合金的不变模量；
- e.铁基合金的电阻性能：电阻率随温度升高而增大，不推荐用作精密电阻；

4、铝和铝合金：铝和铝合金具有的性能使得它们广泛用于电子行业，良好的物理性能、高的比强度、优异的耐腐蚀性和低的密度，再加上低的价格和制造成本，使得这个合金系成为电子组件中基本的机构材料；

a.铝的一些优异性能：电学性能、热导率、密度、比强度、腐蚀性、可获得性、加工方式灵活、连接方便

- b.铝合金系：由 Aluminum Association (美国铝业协会) 制定的根据成分用四位数字表示；
- c.铝合金处理状态符号：-H 表示冷加工状态，用于不可热处理的合金；符号-T 用于主要是通过热处理强化的可热处理的合金，也包括冷加工并进行热处理的状态；
- d.变形铝合金的力学性能：除了退火 (-O 状态) 的抗拉强度值要低于一个规定的最大值外，变形铝合金的抗张强度值要在一个规定的最小值以上；
- e.温度对铝合金力学性能的影响：高温对铝合金的力学性能有不良的影响；
- f.铝及铝合金的物理性能；
- g.铸造铝合金：铝合金可以采用所有的铸造方法，包括砂模铸造、压铸、熔模铸造、金属型铸造和石膏型铸造；
- h.推荐的铸造铝合金：
 - 通用铝合金：合金 356 和 A356；
 - 可钎焊的铝合金：A612 和 C612；
 - 低热膨胀铝合金：高 Si 含量 (18-20%) 的合金；
 - 高强度铝合金：合金 A220，抗张强度超过 40000psi (276MPa)；

5、铍和铍合金：被称作 AlBeMet 的铍铝复合材料，可以再某种程度上克服连接、成形和韧性差的问题，同时保留了很多希望的铍金属的性能，但价格相对昂贵很多；

- a.可用性：一个是纯铍及不同含量的铍氧化物，另一个是 AlBeMet 合金，已经商用的有 AMS7911、ASE-AMS 7912、SAE-AMS 7913-97；
- b.化学成分：最主要的铍铝合金成分是 62%的铍、38%的铝；
- c.物理性能：铍的泊松比极小；
- d.耐腐蚀性和表面精饰；
- e.铍与铍铝合金的保护性涂层；
- f.铍合金的加工：毒性、机加工、成形、连接、价格因素；

6、铜和铜合金：

- a.铜和铜合金的主要特征：
 - 在体积相同的情况下，除了银之外，铜具有最高的导电率，在给定导电率下铜体积最小；
 - 铜的成形性非常好，具有很好的制造经济效果；
 - 铜具有良好的可焊性，还需要一个可焊的表面层；

- 如涂覆热浸涂层一样,可以很容易很可靠地借助电镀对铜进行表面晶饰;
- 铜的耐蚀性很好,表面精饰处理简单而经济;
- 铜可以制成各种大小和形状的产品,如极细的线材、薄带、铸件、板材等等;
- 铜适用于很多工厂成形加工工艺,这使得他能够进行所有的切削加工;
- 铜与铜合金的成本相对较低;
- 铜的热导率很高,这提供了一种把热从元件传递到热沉的好方法;

上述特性普遍适用于铜和铜合金,值得注意的是合金化会极大地影响这些特性。

b.高电导率合金(UNS C10XXX 和 C11XXX);

c.含银铜(UNS C125000~C13000)、铍-铜(UNS C15000)、碲-铜(UNS C145XX)、含硫铜(UNS C14700);

d.黄铜:是铜与锌的合金,青铜是铜与锡的合金

e.铅黄铜:铅的含量范围在0.5%~4.5%之间,含量最高的机加工性最好;

f.磷青铜:含有1%~11%锡、0.04%~0.35%磷的青铜在电子产品中广泛用作弹簧;

g.铍铜(UNS C172XX):是一种沉淀强化合金,在成形上具有工艺优势;

7、镁合金:是目前可用结构金属中密度最小的,常用镁合金的密度约为1.80,最新可达1.38;

a.可得的形式:可以得到所有形式的镁合金,包括片材、板材、棒材、锻材、挤压型材等;

b.合金命名:A铝 L锂 E稀土 M锰 H钪 Z锌 K锆,AZ31表示含铝3%含锌1%;

c.合金可得性:最常用的镁合金材是AZ31,另有挤压合金和变形镁合金;

d.镁合金铸件:使用专为铸造设计的合金浇注出来的;

e.镁合金的加工:成形、连接(铆接、熔焊、应力消除、硬钎焊);

8、镍和镍合金:镍合金是以高强度、高耐蚀性和高韧性为特征的;

a.可得的形式:可得到大多数变形形式的镍与镍合金;

b.物理性能:通过合金化可使镍合金具有不同的磁性和电性能,备受电子工程师青睐;

c.镍合金的力学性能:镍合金可以以不同的状态(冷拉、退火等)供货,不同状态使镍合金的性能变化很大;

9、钛和钛合金:钛合金系的最大特点就是极好的耐蚀性,适中的密度和良好的强度,特别是在需要高比强度的场合;

- a.钛合金：大量的合金元素用来增强钛的性能，包括铝、钒、铁、锰、锡、铬、钼等，有三种冶金形态的钛合金，及 α 型、 $\alpha+\beta$ 型和 β 型钛合金；
- b.钛合金的耐蚀性：钛合金具有很好的耐室温大气腐蚀和海水腐蚀的能力；
- c.污染：钛与钛合金容易吸收氢、氧和氮，会导致延展性下降；
- d.可得的形式：几乎所有形式的变形钛合金都可以得到；
- e.钛的加工：传统工艺均可、但有时也需要一些专门的预防措施和改进技术；
- f.成形：与很多高强度材料一样，具有很好的成形性；
- g.焊接：可焊钛合金可以进行钨极惰性气体保护电弧焊；

10、高密度材料：虽然电子工程师对生产轻质量装备更感兴趣，但是仍然有很多场合需要高密度材料，使质量集中在一个很小的体积内。

- a.铅和铅合金：铅的密度为 11.35，而且成本较低，且熔点低，是配重的首选材料；
- b.烧结的钨：供货的烧结的钨材料密度在 17，通常以棒材形式供货；
- c.贫化铀：已供货的材料密度为 18.5，具有良好结构特性，但耐蚀性比较差；

11、难熔金属：具有很高熔点，能在高温下使用，主要为钨、钽、钼、铌的合金；

- a. 力学性能：这些合金的最主要力学性能是在高达 1000°C 的高温下所具有的使用强度；
- b.弹性模量：难熔金属的弹性模量差别较大；
- c.密度：高密度的钨和钽用于配重或屏蔽辐射，钼和铌的密度比钢的密度稍大，钽和铌的热膨胀速率比钢相对要低；
- d.电学性能：这些金属特别是钨和钼的电学性能使他们作为电导体来使用，这些合金也可用作加热元件；

12、贵金属：贵金属相当普遍地用在电子设备商，主要是由于它们的物理性能和表面性能，而不是他们的机械性能；贵金属包括以下八种：铂 Pt 钯 Pa 铑 Rh 钌 Ru 铱 Os 铱 Ir 金 Au 银 Ag；

- a.银：是所有金属中电导率和热导率最高的金属，常常用作电导体或作为电接触材料；
- b.金：被广泛用于电镀层来防止腐蚀，并提供较低电阻的电接触表面；
- c.铑：具有很高的反射率、低的表面电阻、高的硬度以及在腐蚀性条件下良好的表面稳定性。

第五章 电子封装与组装的软钎焊技术

1、简介：

a.钎料已成为所有三级连接（芯片、封装和板级组装）的互连材料，此外锡/铅钎料作为表面涂层还广泛应用于元器件引线和 PCB 的表面镀涂层；

b.表面安装技术：它主要是应用科学与工程原理将元件和器件放置到印制电路板表面上进行板级组装，而不是将它们插入电路板。与通孔插装技术相比，表面组装技术有如下优点：

- 提高了电路密度；
- 缩小了元器件尺寸；
- 缩小了电路板尺寸；
- 减轻了质量；
- 缩短了引线；
- 缩短了互连；
- 改善了电性能；
- 更适应自动化；
- 降低了大规模生产地成本；

c.工业趋势：

■半导体元件：半导体器件一直向着提高可靠性、缩小特征尺寸、增大的晶圆片尺寸发展，今后电子技术的发展可能不只是受到传统的电路材料理论推动，它还可能基于电子和声子，可能还包括光子的迁移率及传导率；

■IC 的封装和无源元件：又有已知合格芯片（KGD）在板级组装中一直存在问题，使用封装好的表面安装器件将继续占主流地位（DIP、PGA、LCCC、PLCC、SOIC、CSP、FQFP、TQFP、BGA）；

■板级组装：配备了能提供多种工艺能力硬件的柔性工艺，便捷生产和基础设备对于将来 SMT 生产地成功来说都是至关重要的；

d.交叉学科和系统方法：

■最好的科学与技术史结合了四种要素产生的：科学家的责任感、想象力、直觉和创造力；

■浆料技术源于几个学科的交叉：配方技术、流变学、化学与物理、冶金和粉末技术；

2、软钎焊材料：

a.软钎料合金：一般定义为液相线温度低于 400°C (750°F) 的可熔融合金，常用的元素有锡 Sn、铅 Pb、银 Ag、铋 Bi、铟 In、锑 Sb、镉 Cd。软钎料合金的选择是基于以下原则：

- 合金熔化范围，这与使用温度有关；
- 合金的力学性能，这与使用条件有关；
- 冶金相容性，这要考虑浸出现象和可能生成金属间化合物；
- 使用环境相容性，这主要是考虑银的迁移；
- 在特定基板上的润湿能力；
- 成分是共晶还是非共晶；

b.冶金学：对于锡铅二元合金，锡元素和铅元素在液态时可以完全互溶，在固态时可以部分互溶，由于锡铅钎料合金含有一个固相线和多个固相，因此它们也很容易受到热处理的影响；

c.软钎料粉：合金粉末常用以下几种技术制造出来，如化学还原法（多孔并呈海绵状）、电解沉积法（树枝状晶粒）、固体颗粒的机械加工法、液相合金雾化法（生产软钎料粉）；

d.力学性能：三个主要的力学性能包括应力-应变行为、抗蠕变性、抗疲劳性：

- 大多数合金的剪切强度都弱于抗拉强度和抗压强度，由于大多数焊点在使用时都是受剪切应力，所以剪切强度对于软钎焊材料来说十分重要；
- 蠕变是在温度和应力（载荷）都恒定时发生地整体塑性变形行为；各种软钎料合金的抗蠕变性能可分为五类：低、中低、中等、中高、高；
- 疲劳是合金在交变应力作用下的失效行为（低周疲劳。热机械疲劳）；

3、焊膏：

a.定义：是一种钎料合金粉末、钎剂、和载体的均匀的、动态稳定的混合物；

b.特性：焊膏的物理和化学特性可以用以下参数来表述：

物理形貌、稳定性和储存期、黏度、冷塌落、通过细针头的可滴涂性、丝网印刷性、模板印刷性、粘附时间、黏性、暴露寿命、质量和一致性、与待焊表面的相容性、熔融前的流动性、润湿性、反

润湿现象、焊珠现象、桥接现象、毛细现象、浸出现象、残留物的数量和性质、残留物的腐蚀性、残留物的可清洗性、焊点的外观、焊点的孔洞；

c.钎剂和助焊：根据钎剂的活性和化学性质，可将他们分为松香基钎剂、水溶性钎剂和免清洗钎剂，钎剂通过配入到焊膏或焊丝中、或作为独立化学物质直接施加在元件和焊膏上来实现助焊功能；

e.钎剂活性：

- 钎剂的官能团和分子结构；
- 钎剂化学物质的熔点和沸点；
- 在钎焊条件下的热稳定性；
- 在钎焊条件下的化学活性；
- 钎剂周围的介质；
- 待助焊的基板；
- 环境稳定性（温度、湿度）；
- 钎焊条件（温度随时间变化率、气氛）

f.水溶性钎剂：仅用水就可以去除残留物的钎剂，一般用超声清洗并配合适当温度曲线；

g.气相钎剂：一般分为反应性和保护性两种，前者能够帮助钎剂清洗元器件的引线和焊盘，后者的主要功能就是在软钎焊过程中防止氧气和水汽；

h.免清洗钎剂：

- 最小的残留物含量，最好无残留物；
- 残留物为半透明、并且不影响外观；
- 残留物不影响针床测试；
- 残留物与保形涂层（如使用的话）不互相干扰；
- 残留物无黏性；
- 残留物在高温、潮湿和电压偏压的条件下保持惰性；
- 能有效地助焊，而无焊珠形成；

i.水溶性钎剂和免清洗钎剂之间的比较：两者都是可实际应用的体系，后者减少了一个工艺步骤，是一个明显的经济上的优势，但保护气氛的消耗同时会增加清洗的成本；

j.流变学：焊膏的流变学受到以下因素的影响：

- 悬浮颗粒的成分、外观好尺寸；
- 悬浮基体的化学成分；
- 基体中有效组分的相对浓度；
- 基体中组分的结构；
- 基体和悬浮颗粒之间的物理或化学相互作用，包括润湿和融合；
- 悬浮颗粒所占体积分数，通常比例越高越容易偏离黏性流动；
- 内部结构和它对外力的响应；
- 颗粒和生成的团聚物以及凝絮物之间的交互作用；
- 温度；

k. 配方：以下思考步骤是开发产品时的一种路线：

- 定义性能指标；
- 利用基础技术；
- 选择原材料；
- 了解和预测出各组分之间有可能会出现的相互协同或交互作用；
- 平衡性能参数；
- 微调配方以满足设计规范；
- 开发生产工艺；
- 生产一致性产品；

l. 设计和应用焊膏以增加系统可靠性：焊膏的设计和使用的原则—软性的钎剂、粗颗粒的粉末和低温的再流曲线—应该协调一致以获得最高的系统可靠性；

m. 质保检测：膏体、载体、粉末、再流和再流后处理；

4、软钎焊方法：

a. 分类：热传导、红外、汽相凝结、热气体、对流、感应、激光、聚焦红外、白光束、垂直再流；

b. 反应与相互作用：再流动力学的流程图：

- 预热基板和焊膏；
- 挥发性物质蒸发；

- 挥发性物质蒸发/钎剂渗透/ 钎剂激活；
- 化学热解/洁净基底/洁净焊粉；
- 钎料熔化/钎料浸润基底/钎剂载体保护基底/钎剂载体从熔融钎料逸出/化学热解；
- 钎剂载体从熔融钎料逸出/化学热解；
- 钎料固化；

c.工艺参数：用红外法和对流法进行再流占据主要位置，影响产品成品率和焊点完整性的关键工艺参数如下：预热温度、预热时间、峰值温度、在峰值温度停留的时间、冷却速率；

d.再流温度曲线：一个工件所经历的瞬时温度条件取决于一下因素：

- 所有温区控制器的设定温度；
- 环境温度；
- 每块板的质量；
- 加热室中的总质量（装载量）；
- 供热和热传输的效率

e.再流曲线的影响：

- 温度分布的均匀性；
- 塑料 IC 封装开裂；
- 钎料成珠；
- 钎料成球；
- 润湿性；
- 可残留物清洁性；
- 残留物外观和性质；
- 焊点的气孔；
- 钎料和基板表面的冶金反应；
- 焊点的微观组织；
- 母板翘曲；
- 组件的残余应力水平；

f.优化曲线：基于较慢的加热速率和较低温度的再流曲线将更加适合如今的复杂组装、减少峰值温度

区的暴露时间以及减小残余应力的要求；

g 激光软钎焊：二氧化碳(CO₂)和掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG)，主要特点如下：

- 可实现高度的局部加热，避免热敏元器件的损坏和防止塑料 IC 封装的开裂；
- 可提供较高的局部加热，为需要多次再流的组装提供了第二次或第三次再流的工具；
- 需要的再流时间较短；
- 减少金属间化合物的形成；
- 减少溶蚀问题；
- 生成细晶粒的焊点组织；
- 减少焊点中的应力集中；
- 减少焊点中的有害气孔；

h. 可控气氛钎焊，产用气氛如下：干燥空气、氮气、氢气、不同比率的氮氢混合气、裂解的氨气、放热气体、含不同浓度氮气的混合气体；

i. 可控气氛钎焊的工艺参数：气体流动速率、湿度和水蒸气压、带速、温度、氧气含量、优化氧气含量；

j. 温度分布曲线的测量：使用像高温钎料和高温粘结剂（Kapton）之类的粘结材料，或者采用 Saunders 技术系统不使用外部材料就可以形成接触；

5、可钎焊性：

a. 定义：可钎焊性是指动态加热过程中，在待连接的基体表面得到一个洁净金属表面，从而使熔融钎料在基体表面形成良好润湿的能力；

b. 基板：可润湿性排序：Sn，Sn/Pb > Cu > Ag/Pd, Ag/Pt > Ni；

c. 润湿现象：良好的润湿可通过目检看到在焊盘的表面上形成一个平坦、均匀和连续的钎料涂覆层，而不存在反润湿、不润湿或针孔现象；

d. 元器件的可钎焊性：元器件的引线通常是用铜、铜合金、42 合金（41~42.5%镍，余铁），以及可伐合金（29%镍、17%钴、53%铁、1%其他元素）制成的。镀锡引线的可钎焊性取决于以下因素：

- 引线基底材料的成分；
- 涂覆层的成分；

- 表面光洁度和涂覆层状态；
- 涂覆层使用期限；
- 涂覆层的储存；
- 涂覆层的厚度；

e.印制电路板的表面镀涂层；

6、清洗：

a.典型的清洗工艺的关键步骤为：预漂洗—冲洗—漂洗—最终漂洗—干燥；

b.影响清洗效果的参数包括：水温、喷射压力、喷射角、冲洗时间、流速、辅助搅拌；

7、窄节距器件的应用：

a.开口设计与模版厚度的关系；

b.焊盘图形与模版开口设计的关系：台阶式模版、在开口四边均匀减小、交错印刷、减小长度或宽度、其他形状、折中模版厚度；

c.模版选择：常用模版材料有黄铜、不锈钢、钼、42 合金和电铸镍，常用模版的制造工艺有化学蚀刻、激光切割、电解抛光、电镀和电铸；

8、有关钎焊的问题：

a.金属间化合物与焊点形成：简单来说金属间化合物生成的程度，化合物的成分以及它们的形貌都取决于内在因素，这些因素包括：

- 钎料与基体的冶金反应活性；
- 钎焊（再流）的峰值温度；
- 在峰值温度的停留时间；
- 基体的表面状态-干净的与氧化的；
- 焊后的存储与使用条件；

b.镀金基板与焊点的形成：用金作为半导体封装和电子组装中基底金属的抗氧化涂镀层是常用的方法，金在以下几个方面对焊点有明显影响：流动性、润湿性和铺展性、力学性能、相转变温度、微

观组织、形貌。但当金的浓度过大时或造成由于脆化而造成早期的焊点开裂、生成孔洞、微观组织粗化；

c.焊点气孔：气孔是一种不利于其完整性和可靠性的有害现象，尤其是大量喝大尺寸的气孔；

d.焊球/焊珠：钎焊成球指在再流时离开主焊区所生成各种直径的小球状颗粒，且在固化后这些颗粒并不凝聚在钎料熔池周围；人们一直在通过钎焊工艺控制、元器件和母板质量保证及焊膏设计来减少焊球现象的发生；

e.印制电路板 PCB 的表面镀涂层：

■基本工艺：电镀、化学镀和浸镀；

■金属体系：铜印制线上的可用金属表面涂（镀）层包括：Sn、SnPb 合金、SnNi 合金、Au/Ni、Au/Pd、Pd/Ni 和 Pd 等；

■有机涂层：苯并三唑广泛用于 Cu 的抗锈剂和防氧化剂，靠生成苯并三唑络合物进行保护；

■PCB 表面涂层体系的比较：HASL（钎料热风整平）不适用于引线键合、有机涂层；

9、焊点的外观形貌及显微结构：

a.外观形貌：影响焊点外观形貌的因素包括光泽、组织和完整性，如下所示：

■固有的合金光泽；

■固有的合金组织；

■焊膏再流后的残留物的特点；

■表面氧化的程度；

■钎料粉末聚合的完整性；

■微观结构；

■凝固时的机械扰动；

■钎料中的外来物质；

■相偏析；

■凝固时的冷却速率；

■后续的受热过程，包括老炼、温度循环、功率循环和高温储存；

b.显微结构：对于一个给定的钎料成分来说，显微结构以质量微克的形式提供对焊点完整性的“观

察”和深入的“了解”；

10、焊点的完整性：

a.为确保一个焊点的完整性，需要逐一进行以下评估：

- 钎料合金是否符合力学性能的需求；
- 钎料合金是否符合基板兼容性的需要；
- 钎料在基板上能否充分的润湿；
- 焊点构形的设计，包括外形、厚度和接缝区域；
- 优化再流方法和再流工艺，包括温度、加热时间和冷却速率；
- 和老炼相关的存储条件对焊点的影响；
- 实际使用条件，包括上限温度、下限温度、温度循环、振动和其他的机械应力；
- 在实际使用条件下的性能需求；
- 与实际使用条件相对应的可行的加速试验条件的设计；

b.基本失效过程：在使用时，造成钎焊失效的基本过程和影响因素列举如下：

机械强度较差或不够、蠕变、机械疲劳、热疲劳、本征的各向异性热膨胀、腐蚀加速疲劳、金属间化合物的形成、有害微观结构的发展、气孔、电迁移、溶蚀；

c.球栅阵列封装钎焊互连的可靠性：影响阵列焊点长期可靠性的各种因素列举如下：元器件封装、母板材料、钎料成分、焊点的结构和体积、其他材料（下填料）、制造工艺等；

d.周边焊点的可靠性—元器件引线的影响：引线材料、引线长度、引线宽度、引线厚度、引线高度、引线的共面性；

e.焊点寿命预测模型的挑战：现有一些模型方案中大都忽略了一些重要的部分和条件，下面列举了其中一部分，这些就是现有的模型在实际应用中存在局限性的原因：

- 初始微观组织的影响；晶粒尺寸的影响；非均匀微观组织的影响；多轴蠕变疲劳；
- 微观组织随外部条件的变化；确定材料初始有无裂纹；如果裂纹存在它的尺寸有多大；
- 界面冶金反应的影响；焊层厚度与界面影响的关系；损伤机理—穿晶或沿晶；
- 潜在的损伤机理的转变（由穿晶或沿晶）；是否存在晶界孔隙；焊脚几何形状的影响；
- 自由表面状态的影响；加速试验条件与实际使用条件的相关性；

- 实验条件和损伤机理的关系；使用条件包括芯片功率耗散随时间的可能变化；

- 环境温度的影响；电源开关循环次数；焊点共面性的变化造成的影响

f.蠕变和疲劳相互作用：在电子互连的钎焊材料可能要经受包括蠕变和疲劳在内的这两个交互行为之一引起改变。具有最大抗蠕变性的材料常常不同于那些具有最大抗疲劳性的材料，改进材料应着眼于同时提高抗蠕变性和抗疲劳性；

11、无铅钎料：

a.世界立法的现状：

- 美国：减少铅危害法案（S.391&S.729）、铅税法案（HR2479&S.1357）、资源保护回收法 RCRA；

- 日本：家用电子产品回收法，2002 年将铅用量减半，2003 年完全停止使用含铅钎料；

- 欧洲：WEEE 废弃电子电气设备指令、ROHS 关于在电子电气设备中禁止使用某些有害物质指令（铅、镉、汞、六价铬、多溴联苯、多溴联苯醚）

b.技术和方法：

- 在设计无铅钎料时，选择组成元素和它们的具体用量都要考虑两个关键的因素：这种元素与锡形成合金的能力、当与锡合金化时，它们降低熔点的能力；

- 合金强化原则：滑移、位错攀移、晶界剪切、晶粒内的空位或原子扩散；

- 强化方法：非合金化掺杂物的微观结合、微观组织强化、合金强化、选择性填料的宏观混合；

- 合金设计：对于锡基钎料来说，可用的候选合金元素数量很少，仅限于 Ag、Bi、Cu、In 和 Sb。

然而掺杂元素却可以扩展到很多的元素和化合物，冶金相互作用以及与温度升高有关的显微结构的改变，为开发新型无铅钎料提供了严格的科学依据；

c.钎料合金的选择——一般准则：参看“2、软钎焊材料”；

d.无铅钎料的选择：常见的六种体系：Sn/Ag/Bi、Sn/Ag/Cu、Sn/Ag/Cu/Bi、Sn/Ag/Bi/In、Sn/Ag/Cu/In、Sn/Cu/In/Ga；

第六章 电镀和沉积金属涂层

1、电子应用中的电镀涂层用于改善零件的外观、提供对零件表面的保护、改善零件表面的物理或化学性质。元素周期表上的众多元素中，只有 16 种元素能够用于电镀涂层，相关控制要求是由美国材料试验学会（ASTM）和其他协会、机构及国际标准化组织 ISO 提供的；

2、电镀槽

a.组成：

- 整流器或电源，使电子通过外电路从阳极向阴极运动；
- 称之为离子的带点原子，它们在溶液中运载电流；
- 称之为阳极的电极是溶液中金属离子的来源，它们提供了内电路的电子，它们与整流器正极相连；
- 另外一个电极（镀件）称为阴极，它与整流器负极相连，使之形成了闭合回路；

b.阴极反应：阴极即负电极，它实际是一个被镀零件；

c.阳极反应：在阳极，电子离开金属电极，形成金属离子并进入到溶液中；

d.清洗：一个典型的电镀工艺过程都包含着电镀前零件表面的清洗、漂洗以及活化几个步骤。

e.电流分布：电流密度、电镀液类型以及电镀时间对镀层厚度均产生影响；

f.沉积质量：镀层里面的针孔或孔隙度会降低沉积的质量，可利用脉冲镀、化学添加剂及多层镀的方法降低之；

g.刷镀：镀液直接刷在零件上，而不是将零件浸在镀液中；

3、镀铜：

a.酸性镀铜：酸性的硫酸铜镀液对于制备、操作和废液处理来说都很实用，它们被用作印制电路、电子、半导体、轮转凹版印刷、电铸和装饰制品以及在塑料制品上的镀层；

b.氰化物镀铜：其主要优点是具有良好的分散力和覆盖能力，可使轻金属基体材料上镀出具有良好结合力的初始镀层，但氰化物镀液有剧毒，但其安全处理技术已经建立并证明行之有效；

c.焦磷酸盐镀铜：与前二者比需要更多的控制和维护，相对无毒并主要应用在电铸和印制电路中，但工作温度范围不应超过 43~60℃；

d.其他镀铜工艺：一种非氰化物的碱性镀铜溶液正在不断开发中，可代替氰化物镀液直接在锌压铸体和钢上，目前使用还比较有限（氟硼酸盐镀铜溶液）；

4、镀镍：

镀镍工艺在世界范围内被广泛地用于装饰、工程和电铸的目的，镀镍层大多是从水溶液中通过电沉积的方式镀覆的，它们还能通过化学镀（自催化）技术、物理和化学气相沉积工艺以及热喷涂方法进行涂覆；

5、贵金属镀层：对于特定用途选择贵金属时所要考虑的一些因素有接触特性、反射率、耐腐蚀性、可焊性、耐热性、耐磨性、颜色和价格；

a.银：使用银镀层最让人们关注的问题是离子迁移（冲击镀银、伍德镍冲击镀、铈光亮剂）；

b.铱：被广泛用于需要耐磨和高温稳定性的电子领域，一般是从强酸溶液中镀出的；

c.钯：钯的熔点低，密度为 12.02/cm³，与同样厚度镀金层比其重量只有其一半；

d.金：是一种相当昂贵的涂镀层，具有很低的电阻率且表面不会形成表面氧化物，可提供很低的表面接触电阻

贵金属还有一些特殊的性能使得它们很有吸引力，铂耐腐蚀，常在含有氯化物的镀液中作为阳极使用，金在红外区具有很高的反射率，铱在高温下对难熔金属的保护非常理想；

6、镀层硬度：努氏硬度和维氏硬度；

7、镀层性质：温度超过 125℃时可能使多种电镀层性能变坏，通过镀层晶界和孔隙的扩散，使基体金属原子向镀层表面运动，于是这些扩散的金属暴露出来并可能发生氧化，氧化的金属将增加镀层

的接触电阻,而这可能导致器件失效;

8、脉冲镀:金属镀层是通过脉冲电解的方式沉积的,脉冲镀可以定义为电流间断的电镀,间断电流包括施加某一特定时间的直流电,随后再将电流降至零维持另一特定时间,与用间断电流(CI)来改善镀层性能不同的是,脉冲镀时间间隔为几毫秒,而间断电流时间间隔为几秒钟;

9、化学镀:化学镀是水溶液中金属离子在催化表面上的受控电化学还原过程。所有化学镀液都包含如下成分:金属离子的来源、还原剂、络合剂、反应抑制剂和稳定剂。一些贵金属也能够进行化学镀,常见的有银、金、钯和铂;

10、锡和锡合金镀层:在电子元器件上最常见的非贵金属镀层是纯锡和锡合金。金属间化合物(IMC)定义为在钎料和金属化之间形成的合金,一般有三类可钎焊的镀涂层(易熔的、可熔的、不熔的)

11、储存的环境因素:表面氧化和氧渗透到基体能影响金属间化合物的形成。

a.锡晶须:是从固态镀锡表面自发生长出来的发状晶体,它们可以长到直径 1 μ m,长度 5mm,研究发现镍基涂镀层能够防止晶须生长。

■影响可焊性的镀液因素:高电流密度、有机污染物、悬浮颗粒、低金属浓度、薄镀层;

■众所周知的正确电镀操作:镀层要有足够的厚度以提供一个良好的扩散阻挡层、维持镀液洁净(过滤镀液以去除镀液中的所有颗粒物)、采用良好的清洗和活化预镀步骤、监控所有镀液成分和操作条件以得到高质量的镀层;

■铅的替代;

b.无铅镀层:元器件的镀层可以使用多种锡合金而非锡铅合金,业已报道的镀涂层有锡-锌、锡-镍、锡-镉、锡-钴、锡-铋以及锡-铜,或者电镀纯锡。

第七章 印制电路板的制造

1、简介：在一个电子系统的所有部件中，或许没有比印制电路板更重要的了，已经成为几乎所有电子产品和系统的基础。

a.集成电路的概念是 Jack Kilby 和 Robert Noice 从印制电路制造方法中借用来的；

b.今天在电路生产中广泛使用的印刷和蚀刻方法可追溯到 1913 年发明家 Arthur Berry 提出的方法，另一个值得注意的方法是由 Max Schoop 构想出来的；

c.Paul Eisler 是在众多印制电路技术先驱中值得注意的发明家，自称是印制电路之父；

d.印制电路的方法可分为六个主要类型：涂料法、喷涂法、化学沉积法、真空溅射法、模压法、粉压法；

2、印制电路层压板用材料：.刚性印制电路层压板通常包括三个主要部分：增强层、树脂、代替或催化层；

a.增强层：是层压板的基础，它为层压板提供了重要的力学性能。常见类型有纸（低成本、难防火）玻璃纤维（E- D- S-玻璃纤维）、其他（石英布、芳香族聚酰胺纤维等）；

b.有机树脂：是层压板的第二个关键部分，树脂作为粘结剂把增强层结合在一起，并提供层压板重要的电性能，常见类型有酚醛树脂、环氧树脂、聚酰亚胺、其他（氰酸酯和双马来酰亚胺三嗪 BT）

c.挠性（未增强）板用材料：挠性电路板是印制电路制造中一种特殊类型的。满足特殊需要的层压板。常见类型有聚酯、聚酰亚胺、特殊材料（涂覆树脂铜箔 RCC）；

d.金属箔：金属箔常常层压到树脂成分上以形成印制电路制造所需的原材料。可以制造铜箔的方法有机械轧制和沉积，其中沉积的方法又分为电解、化学沉积、气相沉积和溅射，另外导电浆料也是制造印制电路的最古老方法之一；

3、印制电路层压板类型：单层覆铜箔层压板和双面覆铜箔层压板；

4、层压板的选择：主要基于对产品组装和使用上的要求，理想情况下应考虑从标准结构层压板中选择，以避免新结构延误的时间以及可能增加昂贵的鉴定费用；

a.层压板的选择判据如下：热膨胀系数 CTE、电性能、耐火性能、弯曲强度、玻璃化转变温度 Tg、机加工性、最高连续工作温度、机械强度、总的厚度公差、增强片材、树脂成分、热稳定性；

b.层压板命名：NEMA 命名法：XXXP、XXXPC、CEM-1、CEM-2、FR-1/2/3/4/5、G-10，美军标命名法（MIL-P-13949）：PX、GE、GF、GH、GI、GP、GT、GX、GY、GC、GM、BF、BI、SC，常用于电子装置的基板材料为：CEM-1、CEM-3、FR-4、G-10、FR-5、高性能基板（双马来酰亚胺三嗪 BT、聚酰亚胺、PTFE、氰酸树脂、环氧/PPE）、挠性基板；

5、层压板的制备：树脂和增强层材料相结合形成制造层压板的原材料，一般称作为半固化片、预制片或 B 型片。层压方法一般分为：分批层压、连续层压、真空辅助层压、真空辅助高压层压；

6、镀通孔印制电路板的工艺概述：

a.层叠钻孔和销钉定位；

b.钻孔；

c.孔的预处理和金属化：

■钻孔钻污的去除（湿化学方法和干化学方法，碱性高锰酸钾法、等离子体法等）

■金属化（化学镀铜、钯基直接金属化、石墨、炭黑、导电聚合物）

d.涂覆抗蚀剂（干膜抗蚀剂的辊涂、液态抗蚀剂的浸印以及电泳涂覆法）；

e.图形成像（接触曝光、非接触曝光、激光直接曝光）；

f.显影：通常使用传送带工艺来完成；

g.电路图形电镀：使用电镀工艺在表面和通孔中淀积 的电路图形；

h.去膜：一般使用含有表面活性剂的碱性溶液；

i.铜图形蚀刻：去除那些没有被适当的耐蚀金属或聚合物抗蚀剂覆盖的所有的铜，常用氯化铜、氨-氯化铵和硫酸-过氧化氢蚀刻剂，避免出现过蚀刻和欠蚀刻电路；

j.阻焊剂：俗称绿油，或称为阻焊膜，用它来防止钎料淀积或流淌到不需要焊接的电路图形区上，随着技术朝向线条更细、间距更窄的方向发展，液体光成像阻焊剂 LPISM 明显引领着市场；

■常见的阻焊剂：热固性树脂、紫外线固化树脂、光成像树脂；

■阻焊剂组成：环氧、丙烯酸酯、环氧-丙烯酸酯；

■阻焊剂选择判据：工艺必须满足 UL 和 IPC 标准 (IPC-SM-840C)，当然也必须通过最终用户的质量认证，其中 PWB 制造商的关注点是 (需要 UV 固化、可允许的最小孔尺寸、用作电镀的抗蚀剂、低 VOC、烘干工艺窗口、材料费用、感光速度、窄间距分辨力)，PWB 组装厂商的关注点是 (与金属表面的附着力、硬度、光泽度、保持阻焊坝的能力、与焊剂兼容性、与焊膏兼容性)，最终产品销售商的关注点是 (表面绝缘电阻、击穿电压、离子的驻留性、覆盖层厚度、性能、UL 许可，主要 OEM 认可、满足 IPC-SM 840C 规范)；

■阻焊剂涂覆：帘幕涂覆、静电喷涂、大流量低压力 HVLP 喷涂、丝网印刷 (水平的或垂直的，常使用 Circuit Automation 公司的机器)；

■性能要求：能够保持 2mil (0.05mm) 的阻焊坝、既能充分覆盖电路印制线而又没有在印制板上出现厚度过高的现象、阻焊膜中没有气泡或针孔、尽可能短的工艺时间、孔外浆料容易显影、几乎是垂直的侧壁、能够在镀金镀液中操作； 液态光成像阻焊剂必须满足下面标准列出的所有判据：IPC-SM 840C、Siemens SN 57030、UL 94V-0、Bellcore NWT-TR-000078、按照 IBM 的热冲击试验；

k.可钎焊镀涂层：锡铅镀涂层、有机可钎焊保护层 OSP、化学镀镍浸金层 ENIG、化学镀镍/化学镀钯/浸金层 ENEPIG、浸银、浸锡层；以上表面镀涂层中的每一种都会在某些地方提供互连的解决方法，只有 ENEPIG 能够满足所有不同组装的要求，因而常被称作通用镀涂层；

l.金手指电镀：金手指是一种将电路板卡与下一级或系统板互连的常用方法；

m.在制板分割工艺：冲切合仿形铣；

n.边缘倒角；

o.加成法和减成法工艺：可以在绝缘基体材料上制备金属电路图形的方法；

7、单面印制板工艺举例：印刷和刻蚀、金属箔铣切、利用导电油墨直接印刷、平磨；

8、双面印制板工艺举例：在制板电镀、掩孔和蚀刻；在制板电镀、图形镀；导电油墨塞孔；

9、标准多层电路板工艺举例：

a.内层成像的要求：内层材料制备、定位孔的生成；

b.抗蚀层涂覆；

c.曝光方法；

d.显影；

e.蚀刻；

f.去膜；

g.铜电路表面预处理；

h.层压叠层；

i.层压方法；

j.钻孔 ;

k.孔的清洗和凹蚀 ;

l.后续处理 ;

10、大板层压 : 大板层压指的是层压板制造商以整张板的形式制造多层电路板的一种技术, 这种板可供那些不具备层压技术或层压生产能力有限的印制电路板厂商使用 ;

11、金属芯印制电路板 : 金属芯 PCB 是印制电路板中的一种特殊的类型, 这种结构的目的是使热量快速有效地从电路板上散发出去, 一般分为双面金属芯板结构和多层金属芯板结构 ;

12、挠性印制板 : 是印制电路的一种独特和非常重要的形式, IPC 标准文件 IPC-T-50 把它定义为可以带有或没有挠性覆盖层的利用挠性基体材料印制电路图形的产品, 一般也分为单面挠性印制板、双面挠性印制板、多层挠性印制板、刚-挠性印制板 ;

13、高密度互连 (HDI) 印制板 :

a.HDI 基板结构类型 :

■类型 1、2、3 结构 : 都是具有刚性芯板的电路 ;

■类型 4 结构 : 具有刚性绝缘或金属芯基板的电路 ;

■类型 5 结构 : 是一种共层压的电路结构 ; 在层压过程中电路层互连, 使用导电油墨或合金实现垂直互连 ;

■类型 6 结构 : 其典型结构是一种使用整体金属贯通绝缘体为特点或导电胶通过模版印刷在聚合物内形成的电路, 并且在层压过程中达到互连 ;

b. 积压板举例：基本工艺步骤：普通多层板—用树脂填孔—用树脂包覆并激光钻孔或曝光显影—镀电路图形，重复孔形成工艺；

c. 复合层压板结构举例：两个重要的优点：它们不需要对具有大深孔比的孔进行电镀，在层压之前可以独立测试和制造各个层；

d. 顺序层压结构举例：此方法已在两家日本公司 Matsushita 和 Toshiba 应用，包括了绝缘体贯穿工艺和导电油墨工艺两种；

14、印制电路板的检验、评价和测试：

- 目检如镀层质量、阻焊膜覆盖情况以及外观质量；
- 电路本体和设计的特征尺寸（电路线宽、最小间距和孔径）的测量；
- 结构的完整性，包括像检查电镀通孔质量这样一些项目；
- 电性能，如介质击穿电压，以及如有规定，还要进行特征阻抗的测量；
- 清洁度（通常是每平方厘米等价 NaCl 的微克数度量），这指示了在潮湿环境中由于导电离子的存在而引起潜在失效的可能性；
- 可钎焊性，一种表明印制板镀涂层润湿能力的测试；
- 环境性能；
- 横截面评价；
- 电性能测试；

15、未来发展方向：尽管没有人能够十分肯定地预测未来，但是在印制电路制造中相对能确定的是电路线宽和间距以及连接它们的孔径会随着时代发展变得越来越小，这两个趋势中，最重要的可能是制造更小的孔，小孔是改善电路布线的关键。

第八章 混合微电路与多芯片模块的材料与工艺

1、混合电路的基础是由某种耐熔陶瓷制造的基板，在基板上，通过某种膜技术制作金属化图形以形成安装焊盘和电路布线，并用来键合互连必要的有源器件和无源器件，混合电路技术的另一个特点是能够制造无源元件；多芯片模组（MCM）与混合电路密切相关，它采用了更广泛的基板材料和金属化工艺，从而可以获得高得多的封装密度；

2、混合电路用陶瓷基板：

a.对电子应用来说，基板所需要的性能包括：

- 高电阻率，基板必须具有很高的电阻率以隔离相邻的电路；
- 高热导率，有助于使正常工作的电子元器件所产生的热从元器件中传导出去；
- 耐高温，用于基板金属化和元器件组装的很多工艺都是在高温下进行的；
- 耐化学腐蚀，溶剂、焊剂等类似材料都是有侵蚀性的，一定不想能腐蚀基板的化学结构；
- 成本，基板材料的成本必须与最终产品的成本相适应；

b.陶瓷基板的性能非常适用于很多微电子系统，陶瓷就其本质来说是带有非常少自由电子的晶体，他们具有很高的电阻、热学和化学性能稳定，并具有很高的熔点。陶瓷的主要键合机理是离子键，也可能存在某种程度上的共价键；

c.陶瓷的表面性能：表面粗糙度和挠曲度；

d.陶瓷材料的热性能：

- 热导率 材料的热导率是其载热能力的度量 其定义为 $q = -k(dT/dx)$ 其中 k 为热导率 $W/(m \cdot ^\circ C)$ ， q 为热流量 W/m^2 ， dT/dx 为稳态温度梯度 $^\circ C/m$ ；
- 比热容 即每克物质温度每升高 $1^\circ C$ 所需的热量 以 $W \cdot s/(g \cdot ^\circ C)$ 为单位 其定义表达式为 $c = dQ/dT$ ，其中 c 为比热容， Q 为能量 $W \cdot s$ ， T 为绝对温度 K ；

■热膨胀系数 (CTE&TCE): 是由于随温度增加原子间距不对称增加引起的, 大多数金属陶瓷在有意义的温度范围内显示了一种线性的各向同性的关系, 而某些塑料本质上可能是各向异性的。其定义式为: $\alpha = [L(T_2) - L(T_1)] / [L(T_1)(T_2 - T_1)]$;

e. 陶瓷基板的力学性能:

■弹性模量: $E = CTE \times \Delta T$, $S = EY$ (胡克定律), 其中 E 为应变, S 为应力, Y 为弹性模量;

■断裂模量 (弯曲强度): 定义式为 $\sigma = Mc/I$, 其中 σ 为应力 MPa, M 为最大弯矩 N·m, c 为中心到外表面的距离 m, I 为转动惯量 N·m², 其中 M、c、I 等参数根据截面形状各异;

■抗拉强度和抗压强度: 在切线方向上施加在陶瓷基板上的力可以产生拉伸力或压缩力, 当力增加达到称之为抗拉强度或抗压强度这个数值时, 发生断裂, 一般来说陶瓷材料的抗压强度远大于其抗拉强度; 另由于加工过程中造成材料里面存在着小裂纹, 所以陶瓷基板发生断裂所需要的力要比理论预测的值低得多;

■硬度: 陶瓷史已知的最硬的材料之一, 因此, 它的硬度是很难测定的, 一般用努氏 (Knoop) 硬度法测量之, 结果用努氏标度或 HK 标度显示之;

f. 热冲击: 当基板暴露于冷热两个极端温度很短时间时将发生冷热冲击, 在这种情况下基板并未处于热平衡, 因此内应力足以引起断裂。基板耐热冲击的能力是几个参数包括热导率、热膨胀系数以及比热的函数, Winkleman 和 Schott 提出了一个称之为耐热系数的一个参数;

g. 陶瓷的电性能:

■电阻率是材料在外电场作用下输送电荷能力的度量, 这种能力更经常用电导率来表示, 它是电阻率的倒数, 定义式为 $\sigma = 1/\rho$, 其中 σ 为电导率, ρ 为电阻率;

■击穿电压: 当施加足够高的电位时, 陶瓷材料的绝缘性能被破坏, 电流可以流动, 提高温度可以加速这种现象, 此时的电压可称之为击穿电压, 击穿电压是很多参数的函数, 包括可动离子杂质的浓度、晶界、偏离化学计量比的程度等, 需要注意的是当环境温度很高或者材料被水分所污染时, 实

实际击穿电压会大大降低；

■介电性能：一种材料吸引电荷的相对能力被称为相对介电常数或相对电容率，通常用符号 K 表示，按照定义，自由空间的相对介电常数为 1，绝对介电常数为 $\epsilon = (1/36\pi) \times 10^{-9}$ (F/m)，一般介电物质可分为极性和非极性，另一种可以分为顺电和铁电；

h. 常见陶瓷基板材料的性能：

■氧化铝 (三氧化二铝 Al_2O_3) 是目前电子工业最常用的基板材料，氧化铝是密排六方的刚玉结构，也存在某些亚稳结构，但它们最终都会不可逆转的转变成六方的 α 相，氧化铝作为厚膜、薄膜电路和电路封装以及多芯片模组的多层结构的基板材料广泛地用于微电子工业，有不同的成分可分别用于高温工艺和低温工艺，高温共烧陶瓷 HTCC 使用难熔金属 W 或 Mo/Mn 作为导体在 $1600^\circ C$ 烧结，而低温共烧陶瓷 LTCC 使用传统的 Au 或 Pa/Ag 作为导体，在 $850^\circ C$ 左右烧结；

■氧化铍 BeO 具有密排立方闪锌矿结构，其具有极高的导热率，比金属铝还高，广泛地用于需要高导热率的场合，BeO 可以使用各种制造技术制备成各种形状，可以用厚膜、薄膜或通过一种键合铜工艺实现金属化；

■氮化铝是共价键闪锌矿结构，AlN 有两个很重要的性能值得关注，一个是高的热导率，一个是与硅的 CTE 非常匹配，这一点在安装大功率器件时是非常重要的，AlN 可以使用厚膜、薄膜和铜金属化工艺；

■金刚石基板主要是通过化学气相沉积 CVD 生长的，金刚石可以作为涂层直接沉积到难熔金属，氧化物，氮化物和碳化物上，金刚石具有非常高的热导率，其热导率比次最高的材料高出好几倍，其主要应用时功率器件的封装，然而金刚石的比热容较低，作为散热片与热沉一起工作时效果最好；

■氮化硼 BN 有两种基本类型，六方 (α) BN 较软，结构类似石墨，它是白色的，有时称作为白石墨，立方 (β) BN 是由六方 BN 用类似制造合成工业金刚石使用的工艺在极高的温度和压力下形成的；

■碳化硅 SiC 具有四面体结构，是唯一已知的硅碳合金，SiC 结构可以通过热压、干压和等静压

(首选) CVD 或流延法形成 , 能够使用厚膜和薄膜法使 SiC 金属化 ;

i. 复合材料 : 陶瓷一般具有低的热导率和 CTE , 而金属具有高的热导率和 CTE , 将这些性能综合起来得到一种具有高热导率和低 CTE 的材料在逻辑上是可行的 , 粉末形态或连续纤维形态的陶瓷与金属混合在一起 , 可以将两者的优良特性也综合在一起 , 这样得到的结构被称为金属基复合材料(MMC)

■铝/碳化硅 : Al/SiC 复合材料是将液态铝压入多孔的 SiC 毛坯中形成的 , Al/SiC 由于其导电性好 , 很容易镀铝 , 可提供良好的表面以便后续工艺 , Al/SiC 的另外两个优点是强度和重量 ;

■Dymalloy 是一个 I 型金刚石与 Cu20/Ag80 合金构成的复合材料 ;

3、厚膜技术 : 厚膜混合电路是用丝网印刷方法把导体浆料、电阻浆料和绝缘材料浆料转移到一个陶瓷基板上来的 , 印刷的膜经过烘干以去除挥发性的成分 , 然后暴露在较高的温度下以活化粘结剂 , 完成膜与基板的粘接 , 所有厚膜浆料通常都有两个共同的特性 : 它们是适于丝网印刷的具有非牛顿流变能力的黏性流体 , 它们是有两种不同的多组分相组成 , 一个是功能相 , 提供最终膜的电和力学性能 , 另一个是载体相 (运载剂) , 提供合适的流变能力。厚膜浆料可以分为聚合物厚膜、难熔材料厚膜和金属陶瓷厚膜 ;

a. 传统的金属陶瓷厚膜浆料具有如下四种主要成分 , 并发挥不同的作用 :

■有效物质 : 决定烧结膜的电性能 , 如果是金属则烧结膜是导体 , 如果是导电的金属氧化物则是一种电阻 , 如果是一种绝缘材料则是一种介质电体 , 一般以粉末形式出现 , 颗粒尺寸为 1~10um , 平均粒径约 5um ;

■粘接成分 : 主要有两类物质用于厚膜与基板的粘接 , 玻璃和金属氧化物 , 它们可以单独使用或者一起使用 ;

■有机粘接剂 : 通常是一种触变的流体 , 用于两种目的 , 可以使有效物质和粘接成分保持悬浮态直到膜烧成 , 此外赋予浆料良好的流动特性以进行丝网印刷 ;

■溶剂或稀释剂 : 自然形态的有机粘结剂太粘稠不能进行丝网印刷 , 需要使用溶剂或稀释剂 , 稀释剂

比较粘剂较容易挥发,在大约 100°C以上就会迅速蒸发,用于这种目的的典型材料是砵品醇、丁醇和某些络合的乙醇;

b.厚膜浆料的制备:制造过程开始于粉末态的物质,通过从化学溶液中沉淀出来的金形成的金粉末与细筛的玻璃粉混合,加入运载剂(由适当的溶剂、增稠剂或胶混合)后用球磨机使混合物充分混合来减小玻璃料和其他脆性材料的颗粒尺寸,最后由三辊轧膜机将浆料的组分弥散开;

c.厚膜浆料的参数:粒度(FOG 细度计测量)、固体粉末百分比含量(400°C煅烧测量)、黏度(锥板或纺锤粘度计测量)。为适应丝网印刷,浆料需具有下述特性:流体必须具有一个屈服点、流体应该具有某种触变性、流体应该具有某种程度的滞后作用;

d.厚膜导体材料的功能:

- 最主要的功能是在电路的节点之间提供导电布线;
- 它们必须提供安装区域、以便通过钎料、环氧树脂或直接共晶键合来安装元器件;
- 它们必须提供元器件与膜布线以及与更高一级组装的电互连;
- 它们必须提供端接区以连接厚膜电阻;
- 他们必须提供多层电路导体层之间的电连接

e.厚膜导体材料的分类:可空气烧结的、可氮气烧结的以及必须在还原气氛中烧结的;代表性的有金导体(高可靠性)、银导体(需防止银迁移)、铜导体;

f.厚膜电阻材料:把金属氧化物颗粒与玻璃颗粒混合,在足够的温度/时间进行烧结,以使玻璃熔化并把氧化物颗粒烧结在一起,所得到的结构具有一系列三维的金属氧化物颗粒的链,嵌入在玻璃基体中。大致可以按 Lichtenecker 的对数混合规律把厚膜电阻材料混合在一起;

g.厚膜电阻的电性能:

- 零时间(刚烧结后)性能:电阻温度系数 TCR、电阻电压系数 VCR、电阻噪声、高压放电;
- 与时间有关(老炼后)的性能:高温漂移、潮湿稳定性、功率承载容量;

h.厚膜电阻的工艺考虑:就温度控制和气氛控制而言,厚膜电阻的印刷与烧结工艺是极为关键的,

温度和该温度下的停留时间微小的变化都会引起电阻平均值和数值分布的明显变化；一般而言电阻的欧姆值越高，变化越剧烈；

i.厚膜介质材料：厚膜介质材料主要是以简单的交叠结构或复杂的多层结构用作导体间的绝缘体，可以在介质层留有小的开口区或通孔以便与相邻的导体层互连。厚膜介质材料的 CTE 必须尽可能的接近基板材料以避免在加工几层后基板过分弯曲和翘曲，选择一种厚膜介质材料的另一种考虑是与电阻系统的兼容性；

j.釉面材料：介质釉面材料是可以在较低温度（通常在 550°C）下烧结的非晶玻璃，它们可以对电路提供机械保护，免于污染和水在导体间的桥接，阻挡钎料散布，改善厚膜电阻调阻后的稳定性；

k.丝网印刷：接触工艺和非接触工艺；

l.厚膜浆料的干燥：印刷后先在空气中“流平”一段时间（通常 5~15min），然后在 70~150°C 的温度范围内强制性干燥大约 15 分钟，通常在低温的链式烘干炉中进行的；

j.厚膜浆料的烧结：一个厚膜的烧结炉必须具备清洁的烧结炉环境、一个均匀可控的温度工作曲线以及均匀可控的气氛

k.厚膜小结：金属陶瓷厚膜材料在结构和电学上都是非常复杂的，仅厚膜电阻而言，与材料的性能和工艺有关的参数就超过了 120 个，所以与制造商保持紧密的工作联系时取得成功的重要保证；

4、薄膜技术：与厚膜技术不同，薄膜技术是一种减法技术，整个基板用几种金属化层淀积，再采用一系列的光刻工艺把不需要的材料蚀刻掉，与厚膜工艺相比，使用光刻工艺形成的图形具有更窄、边缘更清晰的线条，这一特点促进了薄膜技术在高密度和高频率的使用；

a.淀积技术：

■溅射：三极真空管溅射、反应溅射；

■蒸发：电阻加热蒸发、电子束加热蒸发；

- 蒸发可以得到较快的淀积速率,但与溅射比有如下缺点:合金的蒸发很困难、蒸发仅局限于熔点较低金属、氮化物和氧化物的反应淀积非常难控制;

- 电镀:把基板和阳极悬挂在含有待镀物质的导电溶液里,在两者之间施加电位实现的;

- 光刻工艺:基板涂覆光敏材料,紫外光通过在玻璃板上的图形进行曝光;

b.薄膜材料分类:

- 薄膜电阻:镍铬耐热合金(NiCr)、氮化钽 TaN、二硅化铬;

- 阻挡材料:金、90Ti/10W;

- 导体材料:铝和铜;

- 薄膜基板:高纯(99.5%)氧化铝,即蓝宝石;

c.厚膜与薄膜的比较:以下因素限制了薄膜不如厚膜应用得那样广泛

- 由于相关的劳动增加,薄膜工艺要比厚膜工艺成本高,只有在单块基板上制造大量的薄膜电路时,价格才有竞争力;

- 多层结构的制造极为困难,尽管可以使用多次的淀积和蚀刻工艺,但这是一种成本很高、劳动密集的工艺,因而限制在很少的用途里;

- 在大多数情况下,设计者受限于单一的方块电阻率,这需要大的面积去制造高阻值和低阻值的两种电阻;

5、铜金属化技术:

a.直接键合铜(DBC):将铜箔直接放在氧化铝上并加热到大约 1065°C,可以把铜键合到氧化铝陶瓷上;

b.镀铜技术:各种把铜镀到陶瓷上的方法都开始于在表面形成一层可导电的膜;

c.活性金属钎焊铜技术(AMB):此工艺利用周期表 IV-B 族的一种或几种金属作为与陶瓷作用的活化剂;

d.铜化技术的比较: DBC 和 AMB 工艺对需要较厚铜膜的用途是十分有利的, 镀铜非常适合需要精细的线条和复杂图形的用途

各种基板金属化技术的用途各有所长, 很少交迭, 在给出具体的要求后, 选择哪种技术一般式很明显的。

6、混合电路的组装: “芯片与引线”法和“表面安装”法;

a.芯片与引线技术;

b.半导体器件的直接共晶键合;

c.有机键合材料;

d.软钎焊;

e.引线键合(热压引线键合和超声引线键合), 其中引线键合的实效模式如下:

■在器件上的球(或楔形)键合可能失效

■在器件端部楔形焊点上方断丝;

■在引线的中间断开;(最理想的)

■在基板端楔形焊点上方断丝;

■楔形焊点脱开了基板;

7、封装与封装工艺:

a.气密封装: 气密封装定义为在这种封装里加压后氦的漏率低于某一规定的与封装尺寸有关的速率, 气密封装可以是金属、陶瓷或玻璃的;

b.金属封装: 是一种常用的气密封装, 它主要有 ASTM F-15 合金, 即 Fe-29Ni-10Co 合金制成的, 金属封装中采用的三种类型盖板为凸起的盖帽、平盖板和台阶式盖板;

- c.金属封装的密封方式：钎焊密封、平行缝焊、凸焊或储能焊；
 - d.陶瓷封装：用与金属封装大致相同的方式把厚膜或薄膜基板置于内部的封装结构；
 - e.陶瓷封装的密封方法：陶瓷封装密封最常用的方法是钎焊密封，另一种比较便宜但可靠性稍差的密封方式是使用低熔点玻璃把一个陶瓷盖板直接密封到陶瓷封装上；
 - f.非气密性封装方法：注塑模塑技术和传递模塑技术；
 - g.直插式封装（DIP）；
 - h.小外形封装（SO）；
 - i.陶瓷片式载体；
 - j.功率混合电路的封装：一种功率封装是使用实体铜块机加工出腔体，镀 Ni 和镀 Au，顶面四周钎焊有不锈钢的密封环，引线为铜芯的 52 合金，使用陶瓷绝缘子，在绝缘子的外部一般用 Mo-Mn 合金金属化，然后镀 Ni、镀 Au，用 Au80/Sn20 钎料把引线一个个钎焊到封装体上；另一种方法是使用铜底座，把 ASTM F-15 合金框架钎焊到铜底座上，然后镀 Ni 镀 Au；
- 8、多芯片模块（MCM）：多芯片模块是混合电路技术的扩展，它比用其他方法所能得到的封装密度更高，硅与基板面积比可以大于 30%；
- a.MCM-L 技术：为了形成多层互连结构，通过多层层压印制电路板材料形成基板；
 - b.MCM-C 技术：与厚膜工艺类似，通过共烧陶瓷或玻璃/陶瓷结构形成基板；
 - c.MCM-D 技术：与薄膜工艺类似，通过在衬底上交替淀积导体层和介电层形成互连
 - d.由于以下两个原因，多芯片模块已成为封装工程师全部技能的重要组成部分：第一是通过使用这种提高封装密度的技术，充分发挥它的优势，可以在更小的封装体积内实现更多的功能；第二是各种材料使基板/互连结构更容易定制以适合具体的用途。

第九章 电子组件中的粘接剂、下填料和涂层

1、粘接剂在高密度表面安装组件的制造中发挥着重要的作用,粘接剂在芯片键合和表面组装点胶工艺中用来固定元器件,形成导电或导热连接,在倒装芯片和 CSP 的下填料工艺中可提高可靠性,甚至在组装完成后可以用保形涂层保护整个元器件。在选择某种用途所使用的粘接剂体系时,首先考察未固化材料的性能,其次是粘接剂加工、调配和涂覆的方法,第三是最终固化材料的性能(也是最重要的);

2、粘接剂的流变性能:

a.相关定义: 应力 $=\tau$ =力/面积(单位为 $N/m^2=Pa$) 剪切速率 $=D$ =速度/厚度(单位为 $1/s$) 黏度 $=\tau/D$ (单位为 $Pa\cdot s$), 水的粘度约为 $1mPa\cdot s$, 空气的粘度约为 $0.01 mPa\cdot s$;

b.流变响应和行为: 牛顿流体和非牛顿流体(剪切变稀或假塑性、剪切变稠);与时间有关的变稀行为称作触变,如果在恒定的剪切速率下一种材料的粘度随时间而降低,那么这种材料被称作触变材料;

c.流变的测量:

■布氏粘度测量法(对于非牛顿流体的任何布氏粘度测量都不是一个绝对值,它只是一个相对数值,并取决于所使用的特定转轴、转轴转速和所花费的时间;

■锥板(Haake)流变分析:剪切速率和粘度都是精确确定的、使用的试样量极小、试样的温度精确控制在几分钟内就可以达到温度平衡、剪切速率的范围很宽且能得到连续的“谱”、利用锥板系统能够完成许多复杂的测量;

■屈服点的测量:常用测量屈服点的数学模型有牛顿模型、Bingham 模型、Herschel Bulkley 模型、Ostwald 模型和 Casson 模型。屈服点的值很大程度上依赖于测试条件,因此一种材料的屈服点并非是一个绝对的数值,重要的是应该在完全相同的实验条件下比较不同材料屈服点的大小;

3、粘接剂体系的固化及固化后的重要性能：

a.对于高密度电子器件组装所使用的材料来说，最常用的是热固化、紫外线固化、室温固化（RTV）和催化（双组分）固化，而固化的程度和速度一般用差示扫描量热法 DSC 来测量；

b.玻璃化转变温度：是指粘接剂从玻璃态转变为“高弹态”的温度，经过 T_g 时 CTE 通常有明显的增加，如果 T_g 在组件的工作温度以内（或附近）将会对组件的可靠性有不良影响，常用测量 T_g 的方法有：差示扫描量热法 DSC、热机械分析 TMA 和动态热机械分析 DMA 上述方法对于同样的材料也会得到不同的数据；

c.热膨胀系数：是温度每升高 1°C 时测量尺寸（一般是厚度方向）变化的分数，对于微电子封装料，一般用 $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 来表示；此参数对微电子封装材料是一个关键指标；

d.杨氏模量：表征在拉伸和压缩状态下材料的弹性性质，与样品的几何尺寸无关，模量越小材料的弹性越大，低模量的材料可认为是弹性非常好的，在断裂前可吸收更多应力，模量的单位是 N/cm^2 ；

4、粘接剂的应用：

a.表面安装粘接剂：又称 SMA、贴片胶、贴片红胶等

■产品特性要求：填充的粘接剂必须无污染无气泡、必须有很长的保存期限、粘接剂必须能够快速涂覆、胶点轮廓和尺寸必须具有一致性、胶点轮廓要高但不要拉丝、颜色可视且能自动检测、必须有高的附着强度、能够快速固化、在固化周期不塌陷、必须有高的强度同时具有柔韧性以抗热冲击、当胶粘剂固化后需要有很好的电学性能；

■涂覆方式：注射器点涂技术（压力-时间系统、容量系统-根据阿基米德螺栓法和活塞正置换泵法）、模版印刷技术、针式转移技术；

■胶点轮廓：圆珠状、拉丝状、圆顶状、巧克力糖状、尖峰状；单胶点或双胶点的选择；

■涂覆参数：以压力-时间系统点胶为例，相关参数涵盖针头尺寸、内径、针头与 PCB 距离、温度、点胶时间和压力以及点胶的周期；

■常见的涂覆缺陷：拉丝（拖尾）、卫星胶点（飞溅）、胶点直径不一致、漏点；

■粘接剂的附着（未固化）强度：也称湿强度，可用“SMD 粘接剂的验收”的西门子 SN59651 标准测量；

■吸湿性：吸湿后的胶粘剂在固化时可能导致爆米花问题，从而导致粘结强度下降、焊料桥接、元器件脱落等其他问题；

■固化速度：固化温度和速度与 DSC 结果有关，也有用户发现达到完全固化强度的 90%对某些工艺就足够了；

■电特性：表面绝缘电阻 SIR 测试法，85°C和 85%RH 的条件下试验 1000h，采用 16VDC 偏压测量，还有就是电解腐蚀测试，在 40°C、92%RH 并伴随 100VDC 的使用电压的条件下测试 4 天；

■屈服点和表面安装胶粘剂：芯片粘结包括涂覆非常小的胶点，每个胶点大约重 80mg，精确布于印制电路板的两个焊盘之间，胶点的形状与屈服点有很大的关系；

b.下填料：又称为底填材料、底部填充胶、underfill 等，用以消除硅器件和所要粘接的基板之间较大的 CTE 失配引起的应力，用于增加元器件收到物理冲击和震动时的可靠性

■毛细填充型：U 型或 L 型或 I 型填充方式；

■助焊（不流动）下填料：回流过程中起助焊作用并固化形成底部填充层；

■可去除可修复下填料；

■柱或角粘接下填料（corner bonding）；

■模塑下填料（固态的）；

■晶圆片用下填料（晶圆片切割前涂覆到倒装芯片器件的整个晶圆片上的下填料）

c.导电胶：（在两个表面之间形成化学结合和导电）

■各向同性材料：它能沿所有方向导电，代替热敏元件上的钎料，也能用于需要接地的器件；

■导电硅橡胶：它能有助于保护器件免受环境的危害如水气，而且可以屏蔽电磁和射频干扰（EMI/RFI）；

■各向异性导电聚合物：它只允许电流沿某一方向流动，提供倒装芯片器件的电连接和消除应变

d.热管理：在电子工业中，热管理正面临着越来越大的挑战，电子器件制造商依靠粘贴 IC 的热沉来

扩散多余的热量, 这些热沉使用机械紧固件、导热粘接剂、脂、带或压敏垫。在所有可用的热管理方法中, 导热胶粘剂使用得最多, 当正确涂覆时, 粘接剂的气孔率最小, 热扩散一致性最好; 常用的导热填料有氧化铝 (70W/m·K)、氮化铝和氮化硼 (150 W/m·K)。通常以导热粘接剂树脂和相变热界面材料方式应用;

e.保形涂层: 是用于防止电子组件在较长的寿命周期中受到各种污染的聚合物材料。一般传统的分类如下: AR 丙烯酸、ER 环氧、UR 氨基甲酸乙酯、SR 硅橡胶、XY 对二甲苯的聚合物; 这些系统主要是由单体、低聚物、消泡剂、填料和润湿剂组成; 采用的涂覆方式有人工喷涂、自动喷涂、往复式喷涂、浸涂、刷涂等等, 在真空环境下可以通过更多的方式在基板上涂覆聚合物薄膜, 方法如下:

- 通过溅射或蒸发使聚合物气化 (物理气相沉积);
- 通过挥发化合物的化学反应形成聚合物 (化学气相沉积);
- 通过两个或多个挥发性金属有机化合物的反应 (金属有机气相沉积);
- 稳定有机化合物的等离子聚合 (等离子强化的化学气相沉积);
- 稳定有机化合物的激光聚合;

真空薄膜沉积的主要优点如下:

- 提供快速的工艺过程;
- 基板的覆盖是保形的;
- 气相可以穿透小空隙;
- 基板上没有液相;
- 薄膜能高度交联;
- 生长速度可以控制;
- 得到无菌薄膜;
- 很容易沉淀多层薄膜;
- 因为薄膜很容易制备, 聚合物用量很少。

第十章 热管理材料及系统

1、任何电气器件及电路都不可避免地伴随有热量的产生,要提高电子产品的可靠性以及电性能,就必须使热量的产生达到最小程度,要管理这些热量就需要了解有关热力学的知识并深入掌握相关的材料知识:

a.温度对电路工作的影响:升高一个有源器件的温度通常会改变它的电学参数,如增益、漏电流、失调电压、阈电压和正向压降等等;改变无源元件的温度通常会改变它们的数值;所以设计人员需要对元器件进行热模拟和电模拟;

b.温度对物理结构的影响:温度膨胀系数 TCE 和热膨胀系数 CTE;

2、热管理基础:

a.热力学第二定律:热总是自发地从较热的区域流向较冷的区域;

b.传热机理:传导、对流和辐射;

■热传导是通过固体、液体和气体或两个紧密接触的介质之间流动的过程;

■对流是两个表面间由于流速不同而导致的热能传输;

■辐射式通过电磁辐射传热的,主要发生在红外波段(0.1~100um);温度为 0K 以上的所有物体都会发生热辐射;温度辐射体可分为:黑体(灰体和选择性辐射体)和非黑体;

3、封装概述:基于以下四个原因需要封装半导体:为半导体提供机械支撑、为半导体提供下一级封装的互连、为半导体提供环境的保护、为半导体产生的热量提供一种耗散途径;常见的封装有单芯片封装(SCP)、多芯片模组(MCM)、系统级封装(SIP)、多个芯片封装(FCP)以及板级封装;

4、封装材料:

1) 半导体 :

a.Si 和 Ge : 硅的导热率 150W/(m·k)、锗的导热率 77W/(m·k) ;

b.化合物半导体 : SiGe 150W/(m·k)、SiC 155W/(m·k)、GaAs 45W/(m·k)、InP 97W/(m·k)、GaP 133W/(m·k)、GaSb 33W/(m·k)、 GaN 16~33W/(m·k)、InAs 35W/(m·k)、InSb 19W/(m·k) ;

2) 芯片粘接材料 : 可以分为两大类 : 软的和硬的 , 软粘接剂包括有机物、聚合物和铅基钎料 , 硬粘接剂包括金基共晶钎料 (AuSi、AuGe、AuSn)、银基钎料 (Sn96) 和掺 Ag 玻璃 ;

a.AuSi 共晶焊 : 共晶温度为 370°C , 导热率为 27 W/(m·k) ;

b.软钎焊 : AuSn (共晶温度为 280°C 导热率 57 W/(m·k) CTE 为 15.9ppm)、AuGe (共晶温度为 361°C 导热率 44 W/(m·k) CTE 为 13.4ppm) 和 Sn96 (共晶温度为 221°C 导热率 33 W/(m·k) CTE 为 33.2ppm) ;

c.掺 Ag 玻璃 : 由约 60% 的片状 Ag 粉、20% 的玻璃和 20% 有机粘结剂 (在工艺过程中会完全烧毁) 组成 , 其热导率约为 60~80 W/(m·k) , 典型工艺温度为 400~420°C ;

d.有机粘接剂 : 填充有贵金属的聚酰亚胺、氰酸酯和环氧树脂被广泛用于芯片粘接 , Ag 是最常用的填充材料 , 特定应用中 Au 和 Cu 也可用作填充材料 , 为提高导热率可加入例如 B₃N₄、AlN、Al₂O₃ 和 CVD 金刚石作为填充物 ; 另外有机粘接剂可分为热固性和热塑性两种 ;

3) 基板及金属化 : 基板可以是陶瓷、带有电绝缘材料或有机物的金属 ;

a.氧化铝 (Al₂O₃) : 导热率为 12~35 W/(m·k) , 与纯度相关 ; CTE 为 6.3ppm (25~400°C) ;

b.氧化铍 (BeO) : 导热率为 248 W/(m·k) ; CTE 为 6.4ppm (25~400°C) ; 需要注意的是 Be 化合物的粉尘会引起慢性 Be 病 (CBD) , 称为铍中毒 ;

c.氮化铝 (AlN) : 导热率为 170W/(m·k) ; CTE 为 4.7ppm (25~400°C) ; 一个明显缺点是在高温下与水接触会分解成无定形的氢氧化铝 ;

d.低温共烧陶瓷 (LTCC): 是 DuPont 公司 1985 年商品化的一项厚膜工艺技术, 其热导率范围为 2.0~4.4 W/(m·k), CTE 为 4.5~8.0ppm, 取决于制造商和生瓷带的具体成分; LTCC 中导热通孔的使用时提高热导率的标准方法;

e.薄膜多层基板: 用于制造多芯片模块 (MCM-D), 其总热阻由串联的两个热阻组成, 多层薄膜部分和支撑材料部分, 另外设计者也可以使用导热通孔阵列提高有效热导率;

f.钢基板: 用钢上介电材料 (DOS) 对不锈钢进行绝缘处理, 例如 Heraeus 公司的 Cermalloy GPA98-047 的热导率为 4.3 W/(m·k);

g.CVD 金刚石: 合成金刚石或化学气相沉积 CVD 金刚石是一种热导率非常高的材料, 其热导率大于 1300 W/(m·k), 故既可用作基板也可用作散热片;

h.绝缘金属基板 (IMS): 既可用作基板也可用作电路卡, 它们是单面包覆多层金属的板, 绝缘金属基板是排列在 18in×24in 的板上制备的, 所以是 FR-4 印制电路卡的廉价、高导热率的替代物; 其基板一般为 Al, 也可以是 Cu、Cu-Invar-Cu、Cu-Mo-Cu 或钢, 并起到热沉的作用, 介电材料为聚合物, 厚度在击穿电压和热阻之间权衡后选择;

i.印制电路基板: 在 MCM-L (层压板) 应用中, 多层基板是用有机材料 (如 FR-4 和聚酰亚胺) 制备的;

4) 基板粘接: 在多芯片应用中通常使用一块基板, 将基板粘接到下一级组件 (不管是封装、电路卡还是热沉) 上时需要粘结介质, 通常使用聚合物材料, 除非基板背面需要接地, 一般聚合物材料是不导电的;

5) 各类封装的材料和导热通路:

a.非气密封装: 塑封微电路 (PEM) 的主要热通路是通过封装的底座和引线到达电路卡组件, 次要的热通路是从管芯通过塑料传到空气中;

b.气密封装：对于高可靠性和恶劣环境的用途，使用陶瓷基板或金属底座的气密封装，气密封装中的主要热通路为通过底座的传导，次要而且很小的一条热通路是对流

6) 热界面材料：空气的导热率是 $0.026\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ ，是热的不良导体，必须从结到热沉的热通路中加以消除。消除的技术是施加机械压力压平表面或用高导热率的材料进行填充，常用的填充材料包括钎料、导热脂、橡胶垫、导热粘接剂、聚酰亚胺膜、相变材料、云母垫、粘接带、陶瓷片、下填料以及聚合物复合材料（纤维）。

7) 印制电路板（PWB）：在电子封装中的应用主要有两个目的：互连和传热，可分为刚性和挠性两大类，其中刚性 PCB 可以有多种结构，包括单面、双面和多层的，从热管理方面考虑均可归为一起，它们的热阻与树脂材料的热导率和数值厚度成正比。一般的 PCB 板的 CTE 为 $15\sim 20\text{ppm}$ ，而导热率根据材质不在 $0.2\sim 0.9\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ 之间。提高导热率的方法有导热通孔、微导通孔（积层技术）以及芯片与热沉直接粘接等；

8) 挠性 PCB：是由薄且挠性的介电材料与韧性的，制有图形的 Cu 箔黏合而成，在挠性 PCB 中，有两条可能的导热通路：通过介电材料和通过 Cu 箔，介电材料的热导率为 $0.11\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ 聚酰亚胺或者是热导率为 $0.21\sim 0.87\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$ 的聚酯膜；

9) 镀层：金属封装和基板一般均镀有一些材料，如 Au、Ni、Cu、Ag 和 Sn，封装电镀是为了防止腐蚀，而基板电镀是为了提高电导率和便于引线键合。

10) 气体：气体的导热性极差，当气体处于热通路中时，会导致热阻非常高，像 He 这样的气体的导热率大概是空气或氮气的 6 倍，故在某些场合用作导热模块基座的填充剂；

5、决定热阻的因素：

- a.半导体芯片尺寸：电子系统中的热量是在半导体结产生的，结面积是决定热阻的一个关键因素，同样芯片厚度也是决定热阻的重要因素；
- b.芯片粘接材料及其厚度：粘接材料的热导率是决定热阻的最重要因素；
- c.基板材料及其厚度，即基板材料的导热率和基板的厚度，尤其是基板介电材料的厚度；
- d.基板粘接材料及其厚度；
- e.封装材料及封装界面。

个人感慨

IC 封装领域的确在国内是一个比较新兴的行业，里面的相关设备、技术、材料和高端人才国产化的也非常有限，和清华大学的田教授谈到此问题时说到这也是二十多年前政府的在 IC 封装领域的侧重方向问题，最终没有将此列上议事日程，也就形成了 IC 封装领域中国目前这样的局面。当然师夷长技以制夷也是为时未晚的！

谈回自己从事的电子胶水领域，目前在 SMT 组装层面还能有不少国产公司的身影，而且也越来越多，但在 IC 封装领域，目前还暂时没有太多切入点，去年 3 月在上海 SEMICON China 聆听了“半导体设备及零部件本土化与本土化采购高层研讨会”，也是以设备等为出发点，而基础材料和中间化学品的本土化只怕也是任重而道远啊！

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”，诸位 IC 达人大家一起努力吧！

下篇预告：接下来准备学习一下《电子制造技术—利用铅、无卤素和导电胶材料 Eelectronic Manufacturing with Lead-free, Halogen-free&Conductive-Adhesive Materials》，美国 John H.lau 刘汉诚、C.P.Wong 汪正平、Ning Cheng Lee 李宁成、S.W.Richky lee 李世玮合著，届时再整理笔记分享！