

哈尔滨工业大学（威海）
材料科学与工程学院

电子封装结构设计

王华涛

办公室：A 楼208

Tel: 5297952

Email: wanghuatao@hit.edu.cn

密封

内容

- ❖ 1. 塑料和弹性体
- ❖ 2. 塑料的性能参数
- ❖ 3. 电子封装用塑料
- ❖ 4. 工艺

塑料和弹性体

❖ 聚合物分类

- 热塑性体、热固性体、弹性体

❖ 热塑性和热固性聚合物

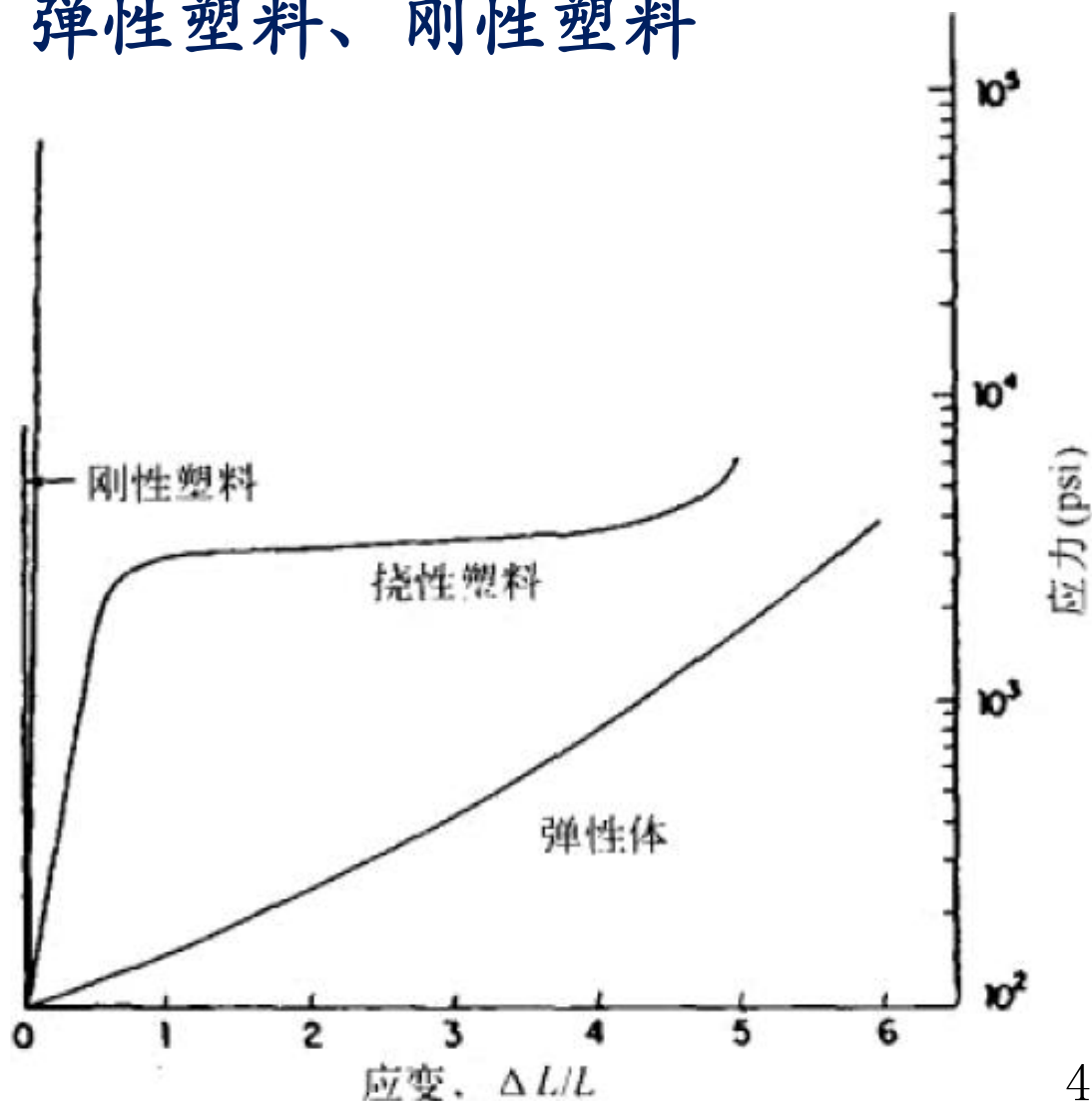
- 除了弹性体以外，聚合物可以分为热塑性和热固性两大类
- 热塑性聚合物：通过冷却凝固，并且可再次熔融
- 热固性聚合物
 - 经交联形成三维网络，不能再熔融
 - 具有两个以上的官能团以利于交联
- 在热塑性和热固性聚合物形成最终产品之前，他们都能够流动来进行成型和模压

塑料和弹性体

- ❖ 弹性体：较低的应力下，具有可恢复的很大的延伸
- ❖ 塑料(力学性质分类)：弹性塑料、刚性塑料

图，典型的挠性塑料、刚性塑料和弹性体的应力-应变曲线

Stress-strain plots for typical flexible and rigid plastics and elastomers



密封

内容

❖ 1. 塑料和弹性体

❖ 2. 塑料的性能参数

■ 流变性

□ 黏度、剪切变稀、触变性、屈服点

■ 固化

□ 热固化、紫外固化、湿气固化

■ 吸湿性、

■ 机械形变特性、热形变特性（CTE、残余应力）、 T_g

■ 粘结性

❖ 3. 电子封装用塑料

❖ 4. 工艺

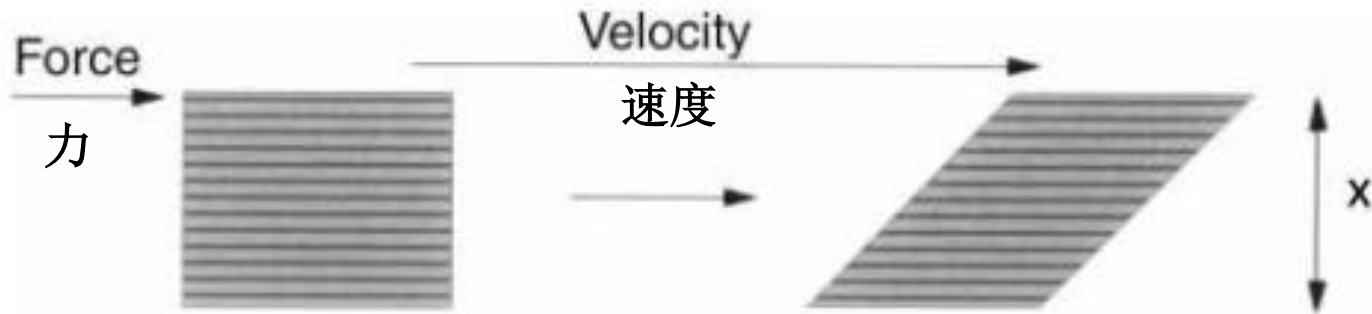
流变性

❖ 黏度， viscosity, η ，单位 $\text{Pa}\cdot\text{s}$

❖ 剪切应力， $\tau = \frac{F}{S}$ 应力 = $\frac{\text{力}}{\text{面积}} = \text{N}\cdot\text{m}^{-2} = \text{Pa}$

❖ 剪切速率， $D = \frac{\text{速度}}{\text{厚度}} = \frac{\text{m/s}}{\text{m}} = \text{s}^{-1}$ 速度：上平面相对于下平面移动的速度

材料的层状结构类似堆积的卡片，在顶层受力移动时，堆积越厚，每一卡片与其相邻层的位移就越小，剪切力就越小，衡量单位厚度的剪切效果



层间的润滑性， D/τ
层间的摩擦性， τ/D

剪切应变 Stress = $\tau = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$

剪切速率 Shear rate = $D = \frac{\text{Velocity}}{\text{Thickness}}$

$$\text{Viscosity} = \frac{\tau}{D}$$

流变性

❖ 黏度

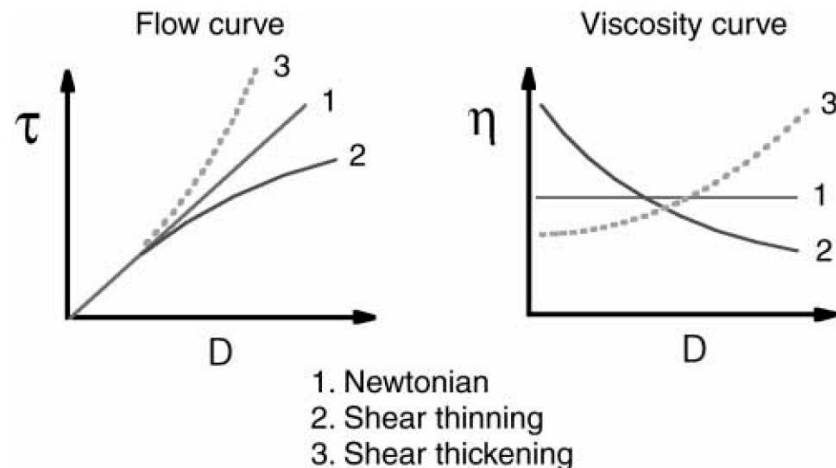
材 料	黏度(Pa · s)	材 料	黏度(Pa · s)
沥青	100 000 000	甘油	1
聚合物熔体	1000	橄榄油	0. 01
黄色糖浆	100	水	0. 001
液体蜂蜜	10	空气	0. 000 01

- ❖ 牛顿流体：其黏度在任何剪切速率下都是常数
 - 水、乙二醇、普通油类等
- ❖ 非牛顿流体：黏度随着剪切速率的增加而降低
 - 大部分流体，包括聚合物流体和血液

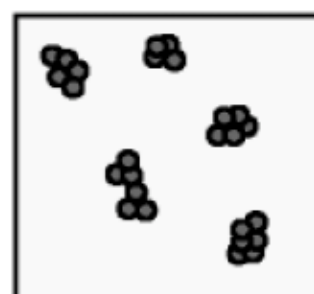
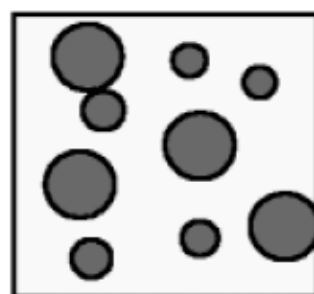
流变性

❖ 剪切变稀

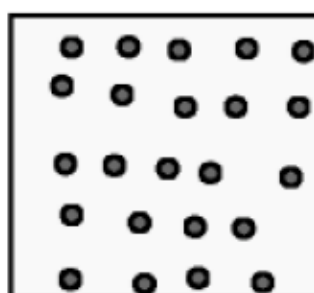
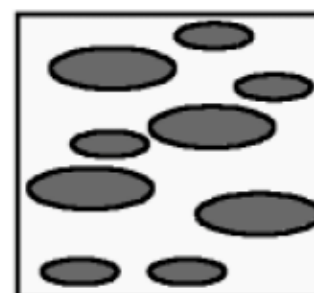
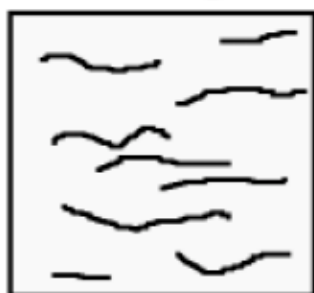
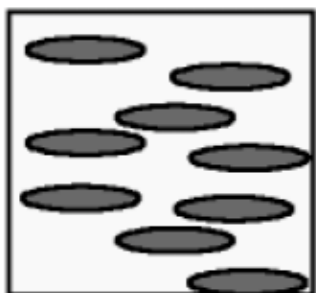
❖ 例，应力作用下，长链聚合物分子的伸展，以及血细胞变成套管状，直径变小，易于通过血管



At rest 静止



流动方向 Flowing in this direction →



Orientation 取向

Stretching 延伸

Deformation 变形

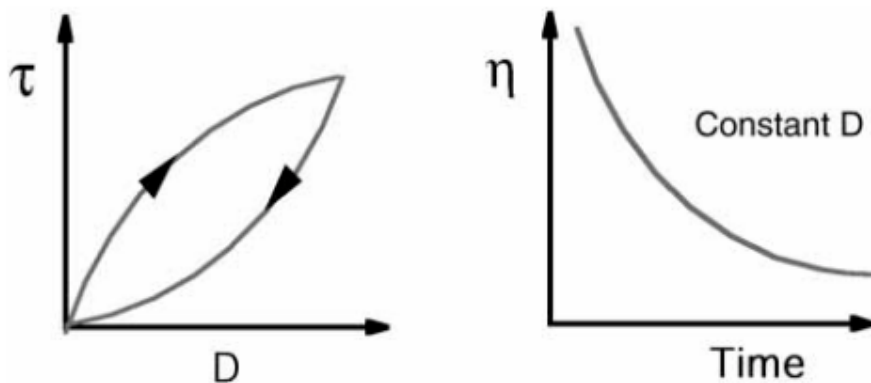
Disaggregation 解聚

流变性

❖ 触变性，与时间有关的剪切变稀行为

- 材料的黏度在恒定的剪切速率下，随时间下降的性质，该材料有触变性

触变流体的流体反应



- 左图上曲线，表示剪切变稀
- 典型触变流体_番茄酱，很稠，难于从瓶中倒出，摇晃后，即施加剪切应力，黏度降低，能够倒出，静止后，又粘稠了。止咳糖浆也是。

流变性

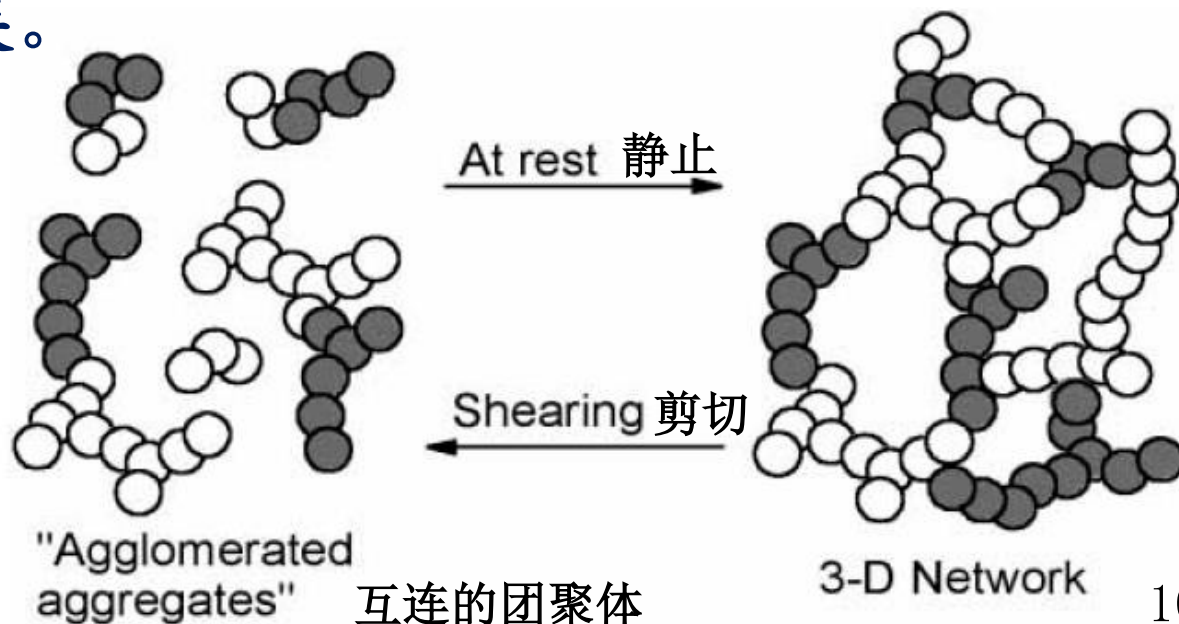
❖ 触变性的应用

❖ 触变性对于某些粘结剂特别重要_环氧树脂应用

■ 环氧树脂很稠，但可以用针头灌注_机理？

❖ 增加触变性的材料

■ 最常用的是二氧化硅，100nm球形，形成团聚体，进一步结合形成更大的团聚体。静止时，形成三维网络结构，类似凝胶；剪切时，网络结构被破坏，易于流动。该循环是可逆的，与时间密切相关。



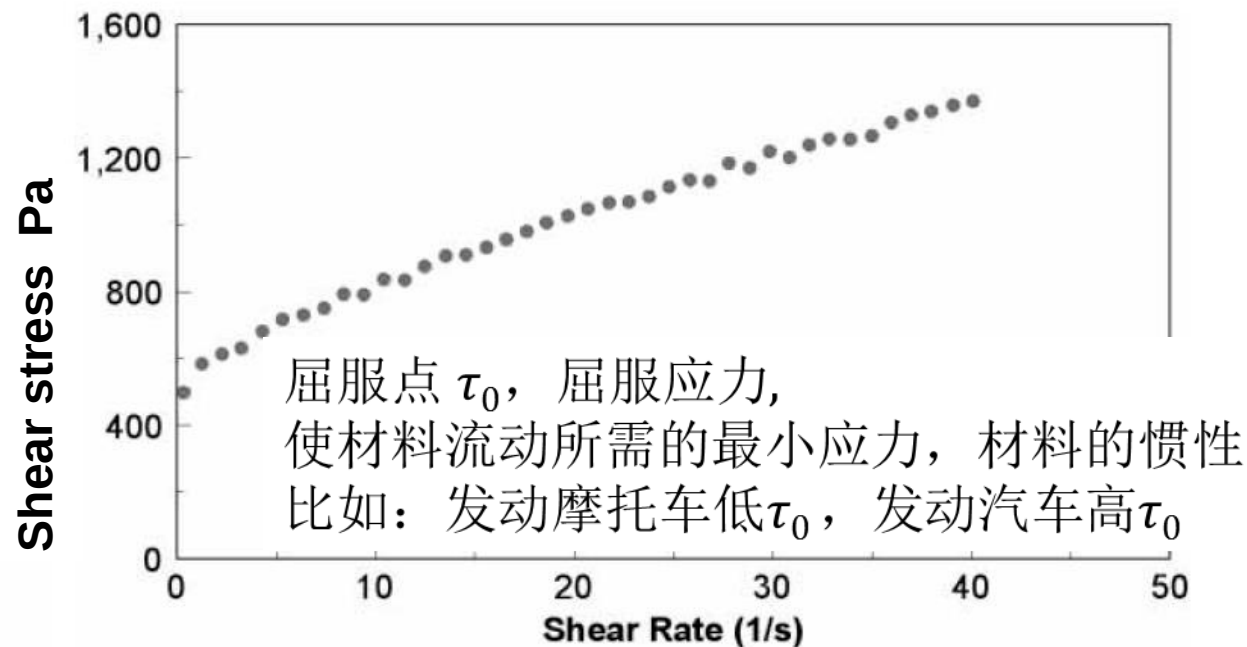
流变性

❖ 屈服点测量

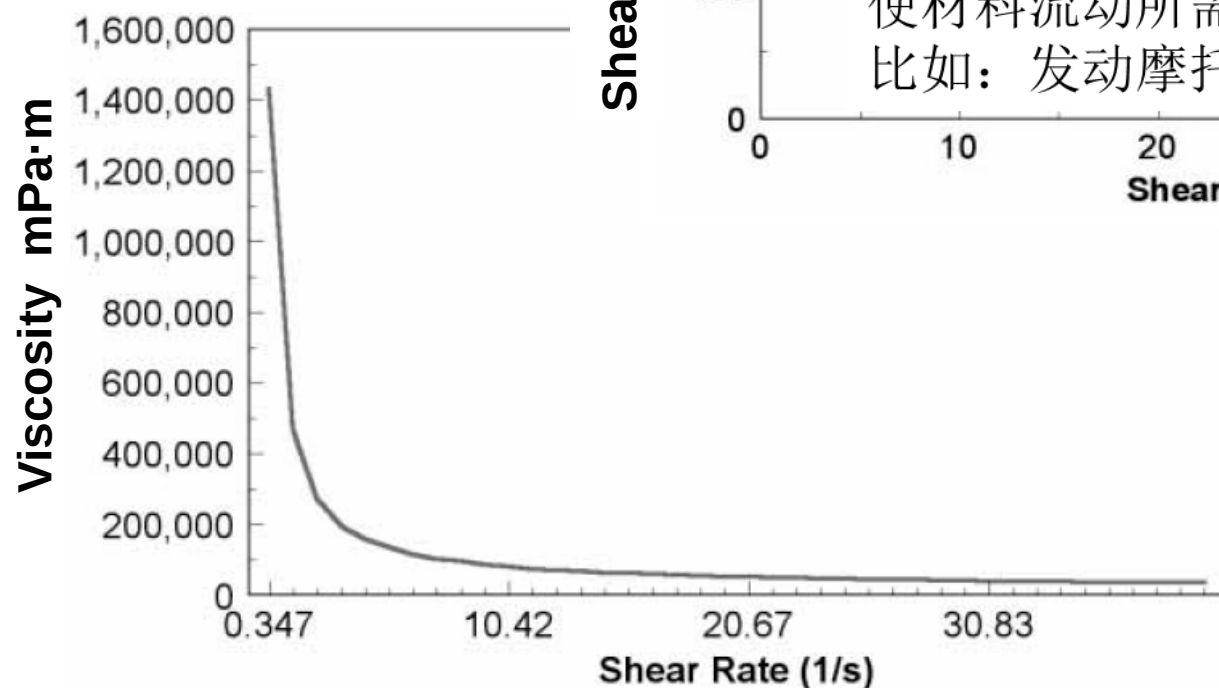
❖ 剪切变稀

❖ 屈服点

某贴片胶的流动曲线，线性坐标



1.屈服点 τ_0 的测量值随
实验条件的变化而变化



某贴片胶的黏度曲线

固化 curing

- ❖ 粘结剂和聚合物开始是液体或膏体，最终都需要固化
- ❖ 固化机理有多种，对于高密度封装电子器件所用材料，其常用固化机理有

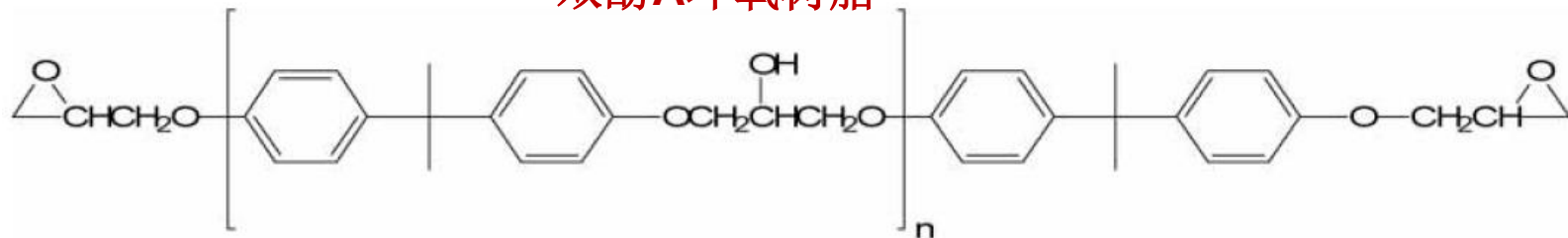
- 热固化、紫外固化、湿气固化、催化（双组分）固化

❖ 热固化 thermal curing

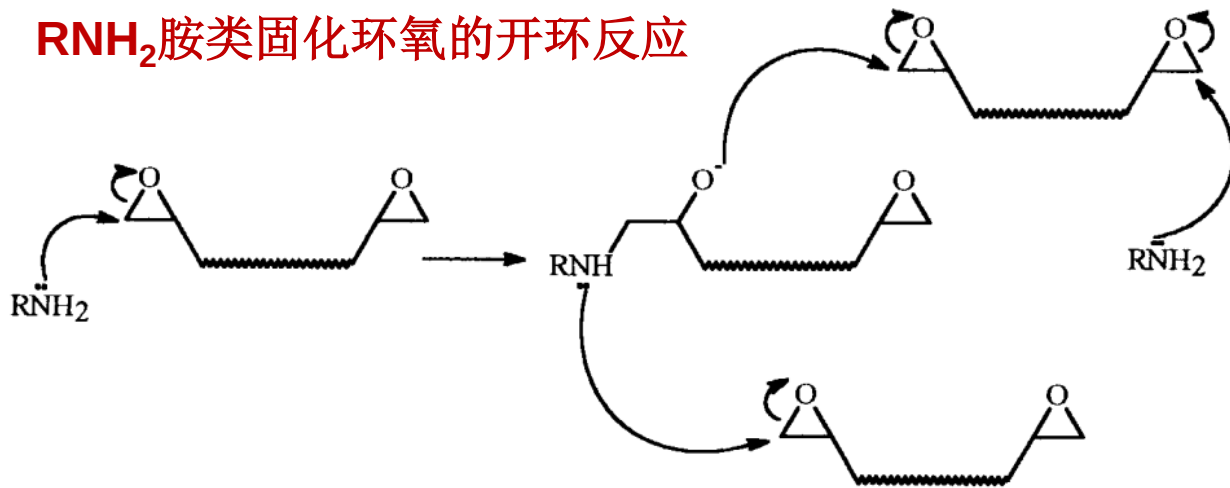
- 加热加速固化
- 低温保存的环氧树脂，如贴片胶和下填料，原本就是混合料可以固化的，通过加热加速固化
 - 温度过低，不发生固化，或者固化很慢
 - 温度过高，产生大应力，且有机物挥发，产生空洞
- 如果改变固化剂类型，则可在室温固化

- ❖ 热固化案例_表面安装粘结剂
- ❖ 组成：环氧树脂和固化剂（多为胺类）
- ❖ 条件，室温下，环氧基团和固化剂之间反应很微弱；加温后，固化剂熔融/相变，使环氧开环发生化学反应

双酚A环氧树脂

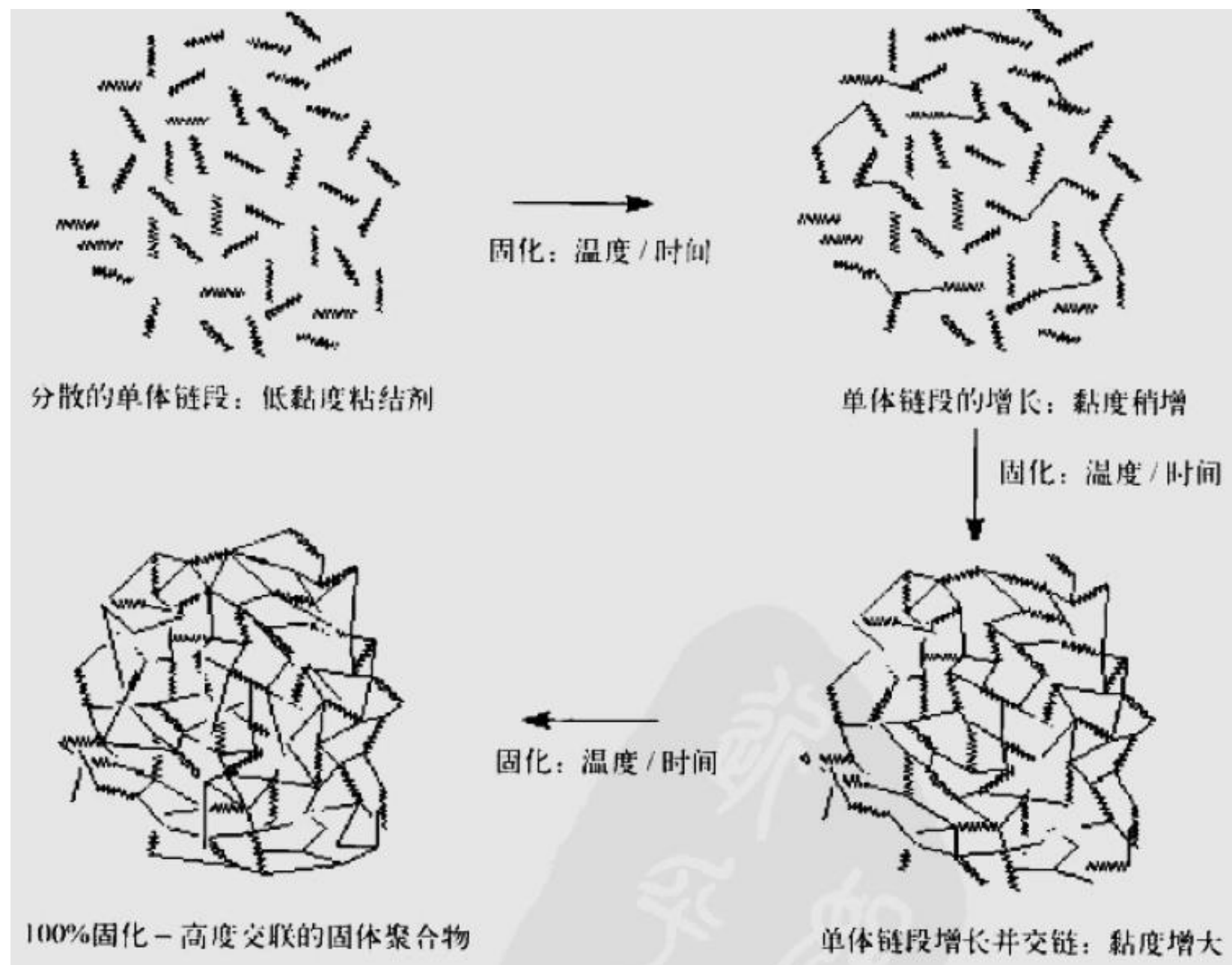


RNH₂胺类固化环氧的开环反应



环氧基团开环后，生成醇盐结构 -O^- ，将于其他环氧基团发生反应（较高温度下），形成更大醚键，即聚醚反应，产生一种高度交联的三维网络结构，黏度增大，直至完全固化。

热固化示意图



紫外固化 UV curing

- ❖ 材料暴露在紫外光或者可见光下即可发生固化
 - 紫外光能量较高
- ❖ 树脂中的光引发剂吸收光的能量后，形成激发态，并产生自由基，引发单体聚合，形成聚合物
 - 激发态， M^* : $M+h\nu\rightarrow M^*$;
 - 产生自由基: $M^*\rightarrow R\cdot+R'\cdot$
- ❖ 适用于丙烯酸树脂、改性丙烯酸树脂、丙烯酸聚氨酯、改性的丙烯酸酯
- ❖ 重要的工艺参数
 - 固化深度， 光的强度、光的波长
 - 表面发粘， 空气中的氧消耗了表面的光引发剂

❖ 与大气湿气反应，发生固化

❖ 最常用的两个体系：**聚氨酯和硅酮烷**（硅橡胶）

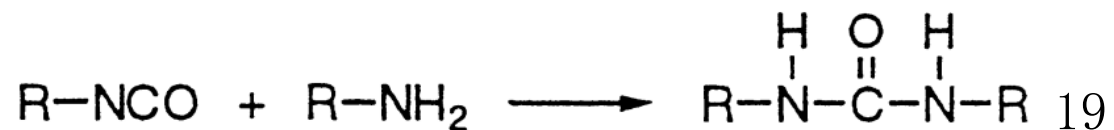
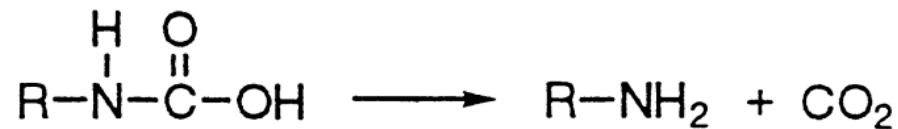
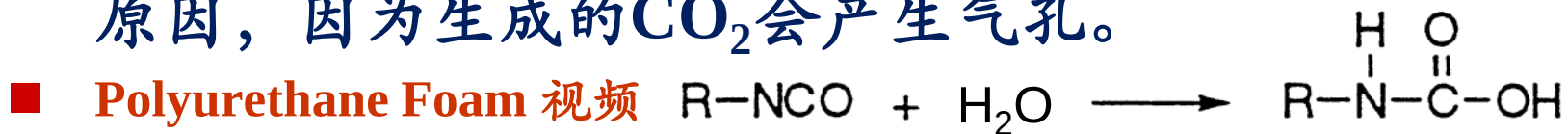
❖ 单组分、双组分体系都可能发生

❖ **聚氨酯**

■ 异氰酸酯与大气中的湿气反应，生产氨（副产物 CO_2 ），然后与其他异氰酸酯反应生成聚脲。

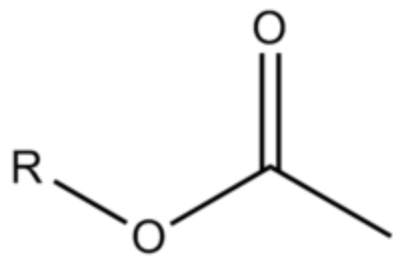
■ 该反应也是聚氨酯（即异氰酸酯）在湿气气氛下发泡的原因，因为生成的 CO_2 会产生气孔。

■ **Polyurethane Foam 视频**



❖ 聚硅氧烷_硅酮

- 主要有三类：烷氧基（甲氧基）、乙酰氧基、肟，通常称为**室温固化硫化橡胶**。
- 肟wò：含有羰基的醛、酮类化合物与羟胺作用，具有C=NOH基
- 乙酰氧基，常见，如浴室防漏，但因产生的乙酸腐蚀电子组件，因此不适用于电子领域。
- 另外两种，不产生对电子组件腐蚀的副产物，适用于电子领域
- 可通过热湿气加速固化，单纯的加热反而起到除湿作用

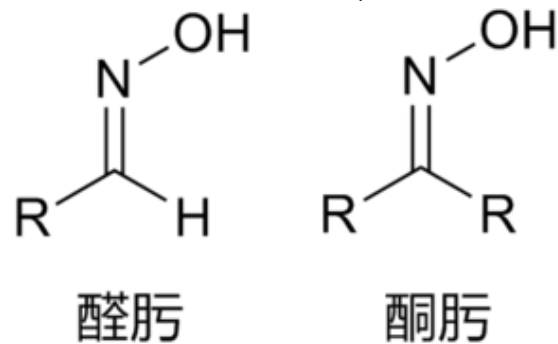


乙酰氧基

烷氧基

甲氧基 (-OCH₃)

乙氧基 (-OCH₂CH₃)



醛肟

酮肟

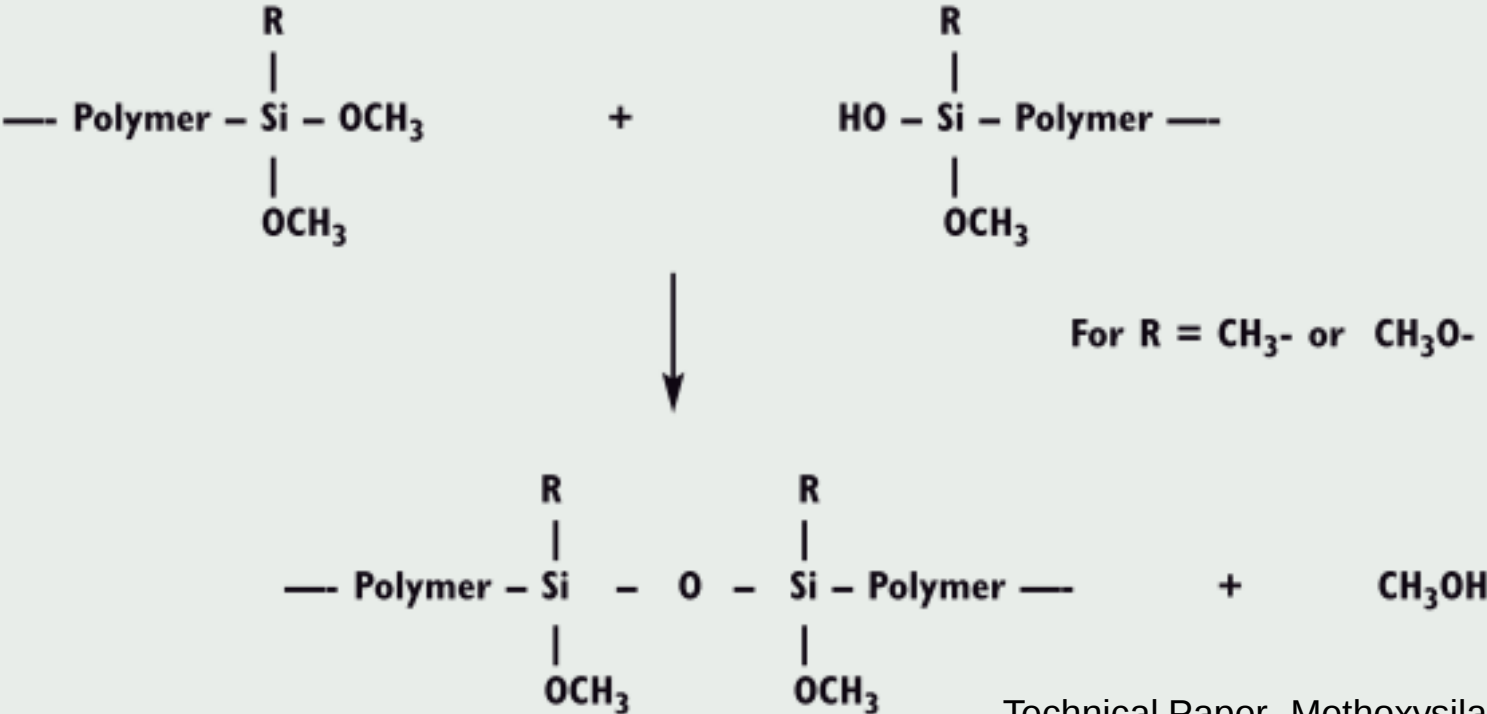
肟，具有通式R₁R₂C=NOH的有机化合物

Step 1: Hydrolytic conversion of a methoxysilane group to silanol. 硅醇



Step 2: Condensation of a silanol and methoxysilane group to form the siloxane cross-link.

甲氧基硫化橡胶与湿气反应，发生固化



- ❖ 环氧树脂的吸湿性和暴露时间的平方根成线性关系，表明该过程由扩散控制

$$\frac{W_t}{W_e} = \frac{4}{L} \sqrt{\left(\frac{Dt}{\pi}\right)}$$

- 包封材料平衡吸水量 W_e 和湿度成指数关系

$$W_e = KH^a$$

其中， K 、 a 是与温度有关的常数

吸湿性

❖ 湿气通过如下的复合机制破坏有机材料和基板之间的粘结

1. 湿气和金属反应，在表面形成一层很薄的水合氧化物层
2. 湿气作用下，化学键断裂
3. 湿气作用下，有机材料发生退化和解聚

没有湿气的情况下，金属表面形成氧化层保护金属，有湿气的情况下，水吸附在氧化物表面（水合氧化物层），破坏了有机材料与金属之间的粘结

吸湿性

- ❖ 塑料封装中，腐蚀是其失效的主要原因
 - 该腐蚀主要来自湿气、可移动离子 (Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-) 引起的差的粘结性
 - (因为有机材料是非气密的，所以湿气能够渗透过去，并被吸收)
- ❖ 塑料封装中，材料和工艺的改进目标就是使其可靠性接近无湿气进出的气密封装的级别
 - 气密 hermetic一词，指通过熔焊、钎焊等措施，阻止气体的进出，英文为airtight之意，实际上，完全的气密是不存在的。
 - 理论上，小分子气体能够扩散进封装体，但往往该过程需要很长时间，由此器件能有相当长的寿命，这就是塑料封装接近气密封装的精髓所在

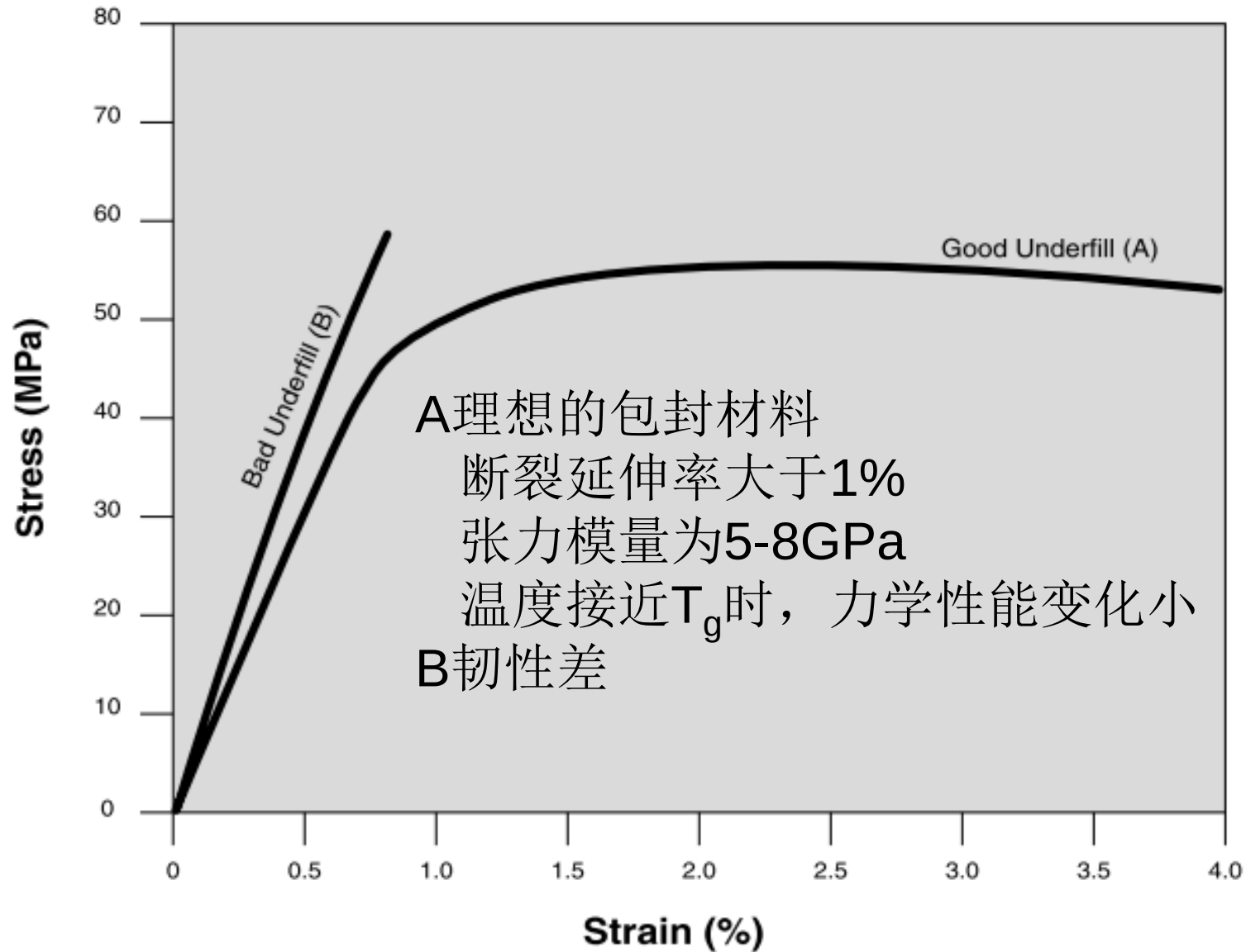


FIGURE 15.4 Stress-strain curves of good (material A) and bad (material B) encapsulation materials.

TABLE 15.2 Physical properties of some materials of interest.

Material	CTE (ppm/°C)	Modulus (GPa)	Density (g/cc)
Silicon	2.6	107	2.33
Silicon dioxide	0.5	119	2.60
Alumina	6.6	345	3.90
Solder (63Sn/37Pb)	25	50	8.40
Aluminum	23	79	2.90
Molding compound	15	14.2	2.30
FR-4	16	20	1.85

- ❖ 理想情况下，为减小应力
 - 模塑料和Si的CTE接近, CTE, Coefficient of Thermal Expansion
 - 底部填充材料和焊料凸点的CTE接近
- ❖ 多数树脂的CTE, 50-80 ppm/°C 如何改性?
- ❖ 添加陶瓷填料来降低CTE, 添加越多, CTE越小 弊端?
 - 但陶瓷填料太多, 则流动性和粘附性变差
- ❖ 因此, 模塑料10~15 ppm/°C , 底部填料20~35 ppm/°C.

热形变特性_残余应力

- ❖ 封装用的大多数树脂材料，固化后产生残余应力
- ❖ 该应力来源于两个方面

- 树脂的收缩

- ☐ 如环氧树脂固化后体积收缩3~6%，产生20MPa残余应力
- ☐ 如何改性？
- ☐ 常添加改性剂，以减少收缩应力

- CTE不同导致的热应力，可由下式来估算

$$\sigma = k \int_{25}^{T_g} E(\alpha_e - \alpha_s) dT$$

σ 环氧薄膜应力； k 常数； E 环氧的弹性模量；
 α_e α_s 环氧材料和基板材料的CTE

- ❖ 以上两个方面形成的应力处于同一数量级

玻璃转化温度 T_g

T_g (Glass Transition Temperature)

玻璃态物质 在玻璃态和高弹态之间相互转化的温度
此温度下，其模量剧烈变化

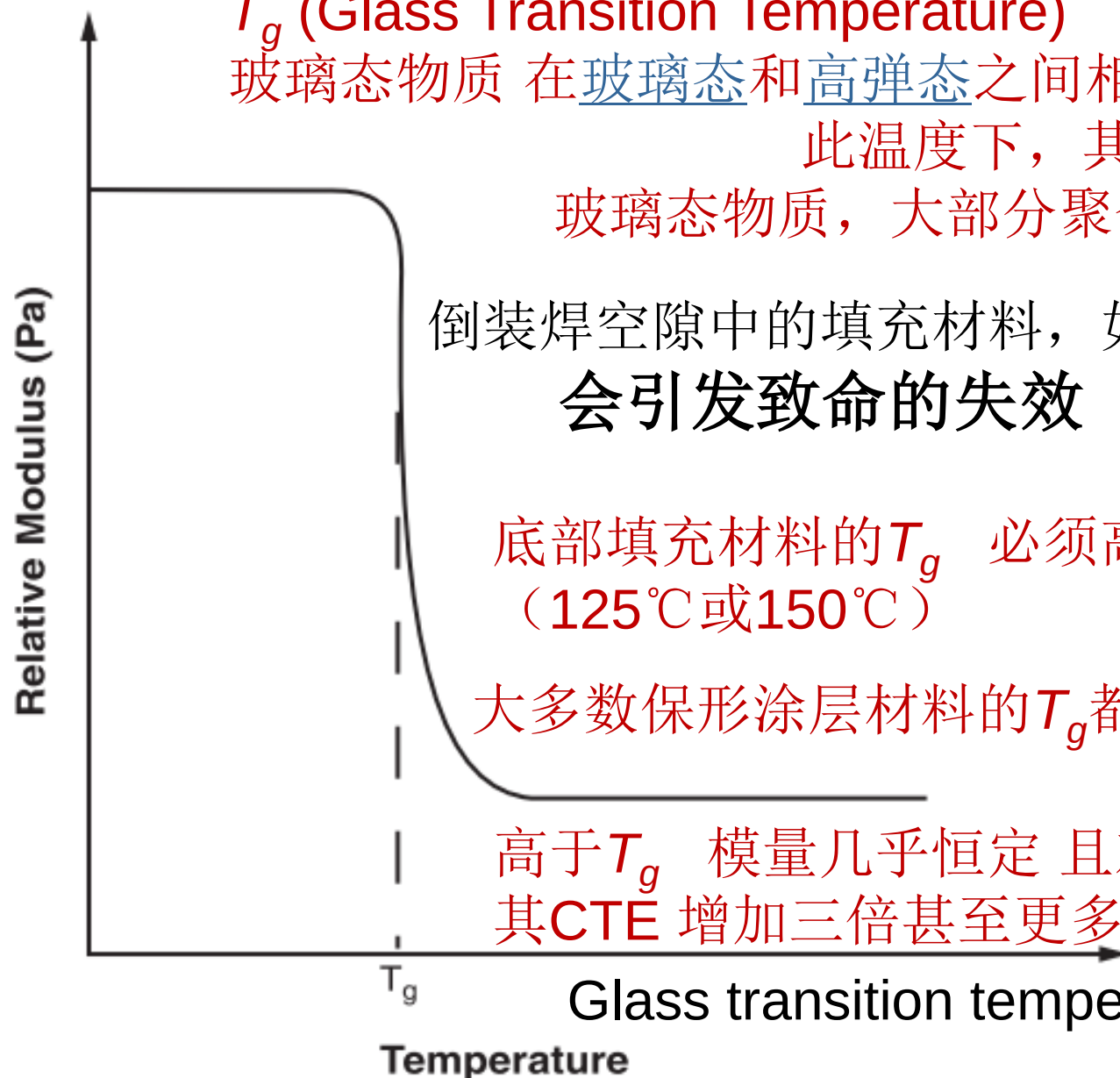
玻璃态物质，大部分聚合物、玻璃

倒装焊空隙中的填充材料，如果其CTE变化很大
会引发致命的失效

底部填充材料的 T_g 必须高于可靠性测试温度
(125°C 或 150°C)

大多数保形涂层材料的 T_g 都小于 125°C

高于 T_g 模量几乎恒定 且对于大多数聚合物，
其CTE 增加三倍甚至更多



玻璃转化温度 T_g

- ❖ 与晶体的熔点不一样， T_g 的范围较宽
- ❖ T_g 之下，材料的物理化学性能发生变化，但并不意味着不能在 T_g 下使用。
 - 例：硅氧烷的 T_g 通常在 0°C 以下，但在相对高一些的温度下仍可使用
- ❖ 差热分析DSC是测量 T_g 简单、快捷的方法

粘 结 性

- ❖ 粘结性，两个界面之间的粘结强度
- ❖ 通过机械连接、物理键合（范德华力）和化学键合（共价键）来实现
 - 表现为有机物和衬底之间分子键的密度和强度
- ❖ 等离子处理提高界面的粗糙度_提高粘结性
- ❖ 添加助粘剂增加化学键合力_提高粘结性
- ❖ 添加硅烷偶联剂_提高粘结性
- ❖ 界面处有水_破坏粘结强度

密封

内容

- ❖ 1. 塑料和弹性体
- ❖ 2. 塑料的性能参数
- ❖ 3. 电子封装用塑料
 - 3.1 粘结剂
 - 导电胶、导热胶
 - 3.2 下填料
 - 毛细流动型、助焊剂型、可去除型、角粘结、模塑型、晶圆片用下填料
 - 3.3 有机涂层
 - 保型涂层
- ❖ 4. 工艺

电子封装用塑料

- ❖ 主要包括: 粘结剂、下填料、涂覆料（有机涂层）
- ❖ Adhesives, Underfills, and Coatings in Electronics Assemblies
- ❖ 粘结剂可用来固定元器件（SMT粘结剂），形成电或热互连（导电/导热胶），提高可靠性（下填料），组装完成还可保护整个组件（保型涂层和灌胶）

粘 结 剂

❖ 导电粘结剂

❖ 导热粘结剂

❖ 某种应用情况下，选择粘结剂时，需考量如下因素

- 1. 材料固化前性能，如储存周期、使用期限、流变
- 2. 与流变相关的加工、涂覆工艺，及固化工艺
- 3. 材料固化后的性能

❖ 需要全方位考量各因素，多从后向前推，3→1

导电粘结剂_导电胶

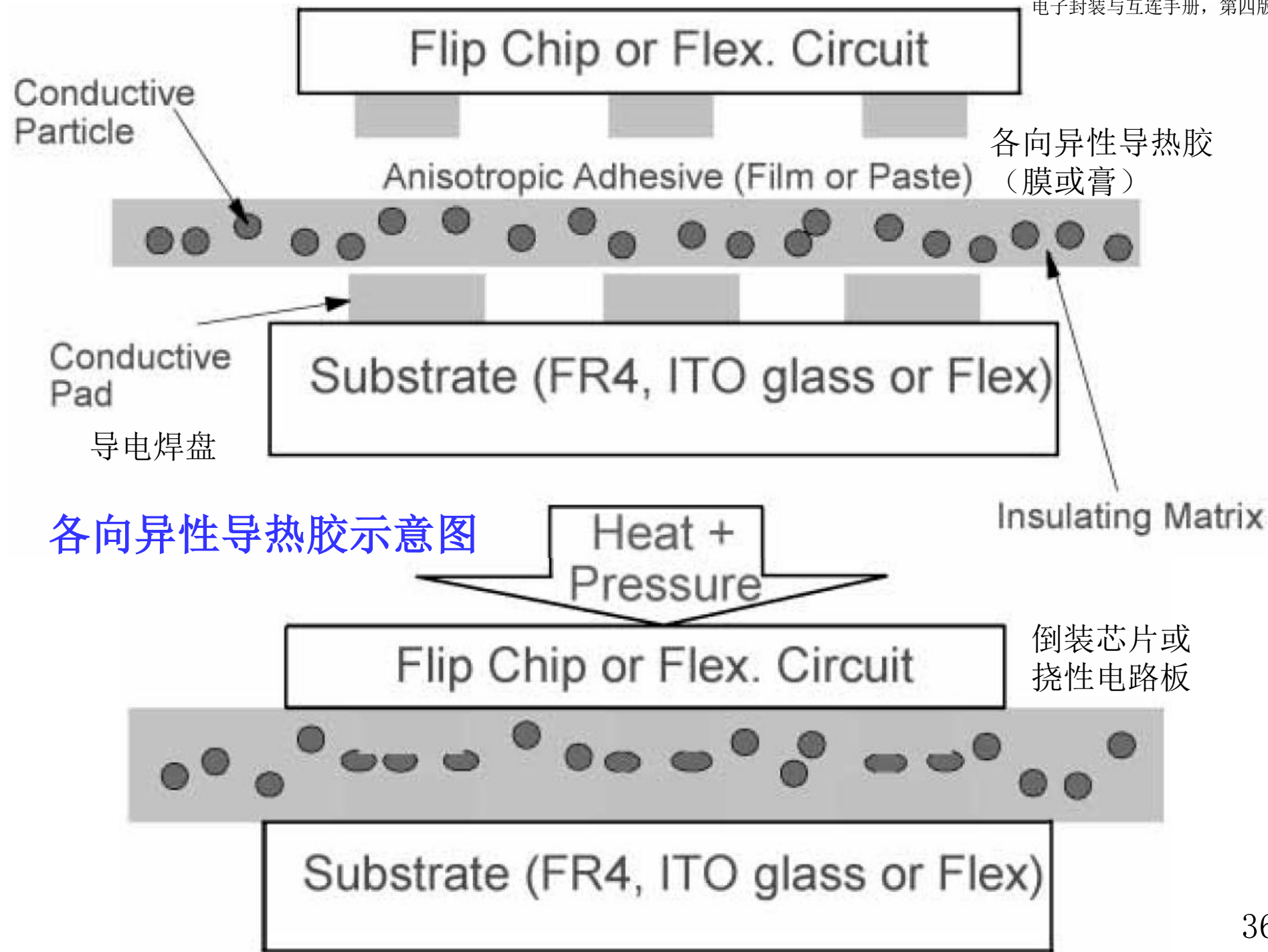
❖ 导电胶

- 提供电互连、部分替代焊料、屏蔽电磁和射频干扰（**EMI/RFI** Electro Magnetic Interference, Radio Frequency Interference）
- 加入导电颗粒：Au、Ag、Ni、镀金聚合物、石墨等

❖ 导电硅橡胶作用：电磁屏蔽、密封壳体

❖ 各向异性导电聚合物

- 各方向导电能力不同，一般由填料加入量、粒度分布和分散程度来控制
- 下图说明：倒装芯片的导电凸点和焊盘间至少有一个导电颗粒，同时避免焊盘间导通
 - 导电填料太少，凸点和焊盘间不导通
 - 导电填料太多，焊盘间导通



各向异性导热胶示意图

导热粘结剂

❖ 导热粘结剂树脂

- 一些场合需要用到导热性好的粘结剂树脂
- 树脂导热率较低，通过加入高导热的填料来提高导热性能

❖ 常用的填料

■ 陶瓷填料

- 多用氧化铝，热导率 $40\text{W}/(\text{m K})$ ，低廉
- AlN 、 BN 的热导率更高， $150\text{-}220$ 、 $29\text{-}300\text{W}/(\text{m K})$ ，成本高

■ 金属填料

- Fe 、 Ni 、 Al 、 Ag ，热导率高， Ag 最高
- 金属密度高，容易从树脂中分离出来，且增加树脂的导电性，很多场合下不适用

■ 填料体积含量， $40\text{-}60\%$

下填料

❖ 下填料，用于增加可靠性

- 用于增加高密度电子组件中所用的各种面阵列封装可靠性的聚合物体系

❖ 主要成分

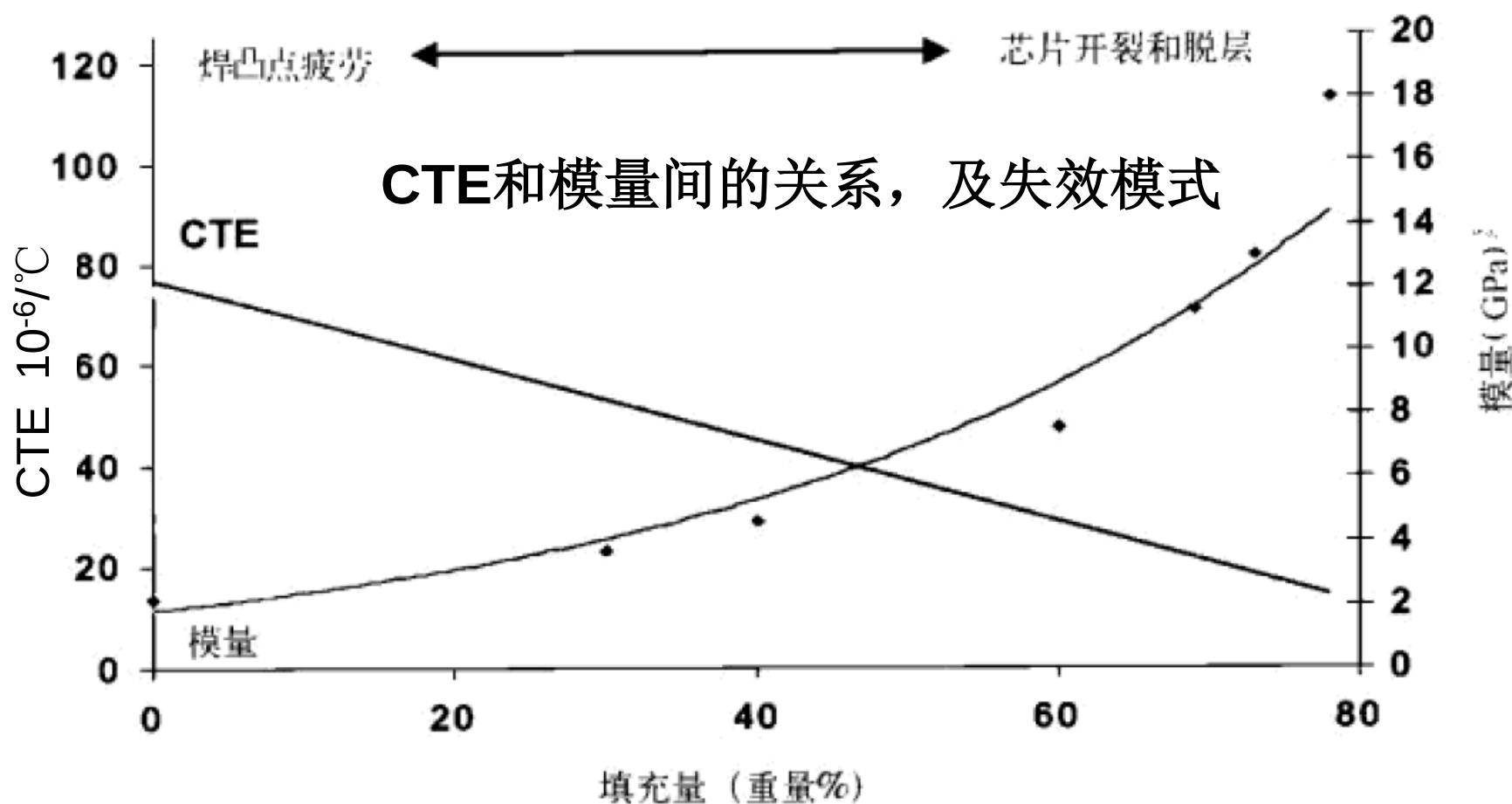
- 环氧树脂，如双酚A环氧和脂环族环氧
- 有时需要加填料
 - 为减小硅器件（如倒装芯片）和基板（如FR-4）间的膨胀失配引起的应力，添加 Al_2O_3 、 SiO_2 ，降低CTE，形成缓冲
 - 为增加元器件如芯片尺寸封装在承受物理冲击和震动时的可靠性，例提高跌落状态下手机的可靠性（角粘结下填料）

❖ 分类

- 毛细管型下填料、助焊剂型下填料、可去除型下填料、角粘结下填料、模塑形下填料、晶圆片用下填料

下填料

- ❖ 下填料的CTE并非越低越好，需要在CTE和弹性模量之间找到平衡，寻求最大的可靠性
- ❖ 了解器件的失效模式，对于选择具有合适性能的材料很关键



毛细管型下填料

❖ Capillary underfill

- ❖ 低黏度的液体通过毛细作用在元器件下流动，润湿芯片、基板表面和包封焊接头
- ❖ 因为多数下填料是永久性固化，所以固化前需要检查缺陷和位置。
- ❖ 下填料的填充时间是其重要参数
 - 用于倒装芯片的下填料，一般在165℃固化5min或者更短时间，在元器件（倒装芯片和CSP）和基板间形成具有高结合力的牢固封装。
 - 用于封装级组件的下填料，能改善其可靠性，但需要更长的时间在芯片下流动和固化。

助焊型下填料

- ❖ 又名非流动型下填料 **fluxing/ no flow underfill**
- ❖ 将下填料的连（焊）接工艺和固化工艺结合到一起
- ❖ 助焊剂下填料在元器件放置前直接加到焊接位置上，然后倒装芯片或CSP放置在下填料中，并进行自对准。回流焊过程中，下填料起到助焊剂的作用，形成互连。理想情况下，下填料的固化也在回流焊中完成。
- ❖ 助焊剂下填料中没有无机填料（有碍焊接），CTE较高，且其黏度大于毛细流动下填料的黏度
- ❖ **CSP**, Chip Scale Package，芯片级封装

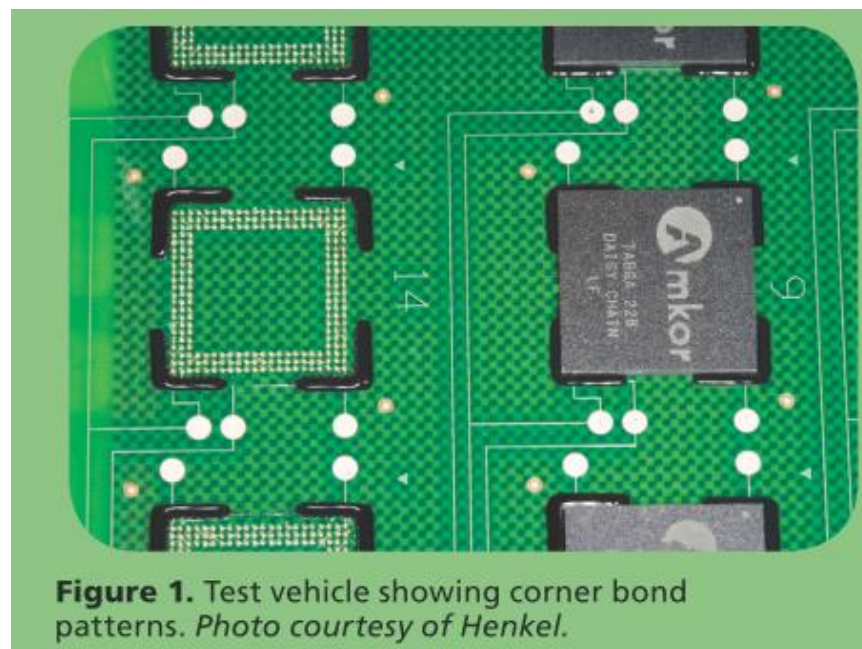
可去除/可返修型下填料

❖ Removable / Reworkable underfill

- ❖ 传统下填料固化后无法去除，使得故障组件不得不废弃
- ❖ 可去除型下填料固化后，如果加热，能够软化或者降解，这样可修复组件，降低成本，类似SMT的修复。

柱或角粘帖下填料

- ❖ Staking or corner bond underfill
- ❖ 为增加器件受到冲击和跌落时的可靠性，将CSP的几个角或者边缘与基板粘结到一起
- ❖ 器件的质量很大，则粘结效果有限



模型形下填料

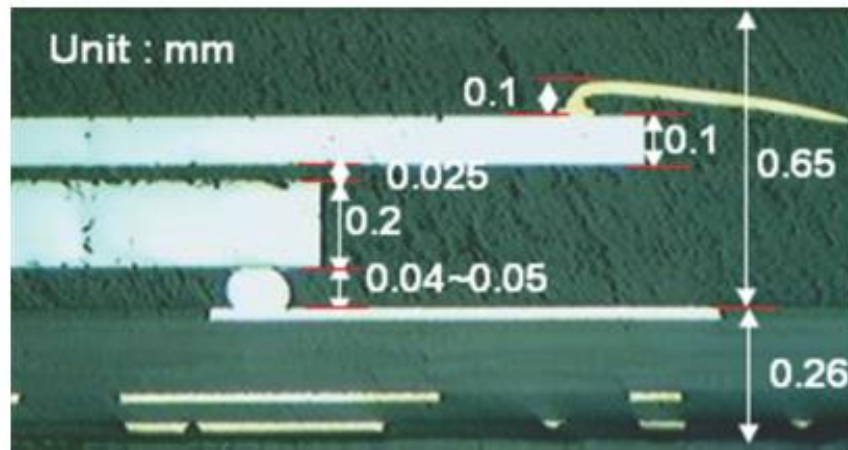
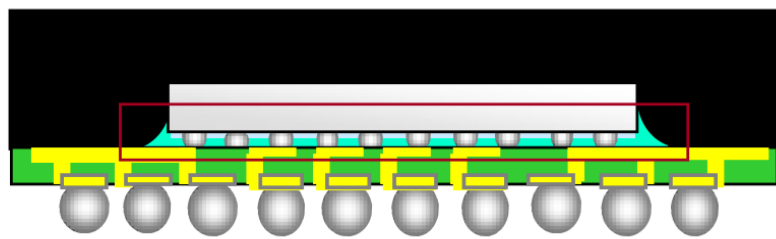


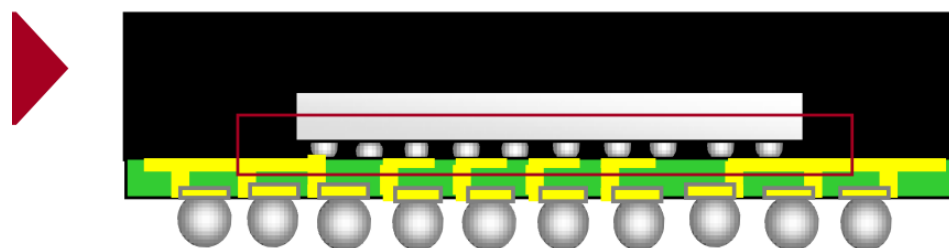
Fig 5. Optical Observations of Cross Sectioned Part

❖ Molded underfill MUF

- ❖ 背景：大规模生产线，倒装芯片，液体下填料，成本高
- ❖ 一块预成型的固体环氧树脂，加热软化后，压力作用下，进入一个或多个倒装芯片组件的模塑腔内。
- ❖ 优化工艺后，完成底部填充后，可进行上模塑包封
- ❖ 气孔要低
- ❖ 压力不可过大，否则器件被破坏或基板翘曲



2 step process (Underfill + Mold)



Single Step Process (Mold Underfill)

晶圆片用下填料_发展中

❖ Wafer-applied underfill

- ❖ 如果倒装芯片或者CSP已经涂覆了下填料，则省去了后续的下填料涂覆环节，降低成本
- ❖ 即在晶片划片前，给整个倒装芯片元器件的晶圆片涂覆下填料
- ❖ 需要具备的特点
 1. 不影响晶圆片的划片分离工艺
 2. 使用或者固化工艺过程中，不会破坏晶圆片
 3. 足够坚固，经受后期的运输和存储
 4. 不影响焊接工艺
 5. 或可提供助焊功能，或不受助焊工艺影响
 6. 不含空洞
 7. 回流焊中，与基板形成弯月形倒角，以及与焊凸点和封装保持粘结

有机涂层 organic coatings

- ❖ 涂层，保护基板免受化学腐蚀、辐射、热和氧化的破坏
- ❖ 保形涂层，conformal [kən'fɔ:məl] coatings
 - 液体树脂，涂于PCB和电子器件表面，很薄（1-10mil） $1\text{mil}=0.0254\text{mm}$
 1. 可增强电子线路和元器件的防潮、防污、防化学腐蚀
 2. 起到屏蔽和消除电磁干扰、提高线路板的绝缘性能
 3. 与电路板有很好的粘附强度
 - 湿气和污染物可能导致材料绝缘性能下降，出现击穿或短路。

有机涂层 organic coatings

❖ MIL-I-46058定义了五种保型涂层聚合物

- 丙烯酸树脂AR、环氧树脂ER、聚氨酯UR、聚硅氧烷SR、聚对二甲基苯XY

❖ 还包括聚酰亚胺、邻苯二甲酸二烯丙酯（DAP）、苯丙环丁烯

- 可加入溶剂调节黏度，包括：有机溶剂和水
- 溶剂可被蒸发出去
- 因为固化时有挥发性有机化合物排出，影响环境，现在很多材料都是非溶剂型的，即100%的固体
- 可热固化，也可辐射固化
- 新型的保型涂层常常由多种组分构成，如丙烯酸树脂和聚氨酯混合体系，可以通过紫外光固化丙烯酸树脂的部分官能团，通过吸潮固化聚氨酯的部分官能团

❖ 下两页的表格是各种保型涂层聚合物性能的对比

性 能	丙烯酸树脂	聚 氨 酯	环 氧 树 脂	硅氧烷(硅酮)	聚酰亚胺	DAP
体电阻率 (@ 50% RH, 23℃)($\Omega \cdot \text{cm}$)	10^{15}	11×10^{14}	$1.2 \times 10^{17} \text{①}$	2×10^{16}	10^{16}	1.8×10^{16}
介电常数 (@ 60Hz)	3 ~ 4	5.4 ~ 7.6	3.5 ~ 5.0	2.7 ~ 3.1	3.4	3.6
(@ 1kHz)	2.5 ~ 3.5	5.5 ~ 7.6	3.5 ~ 4.5		3.4	3.6
(@ 1MHz)	2.5 ~ 3.5	4.2 ~ 5.1	3.3 ~ 4.0	2.6 ~ 2.7	3.4	3.4
损耗因子 (@ 60Hz)	0.02 ~ 0.04	0.015 ~ 0.048	0.002 ~ 0.010	0.007 ~ 0.001	—	0.010
(@ 1kHz)	0.02 ~ 0.04	0.04 ~ 0.06	0.002 ~ 0.02	—	0.002	0.009
(@ 1MHz)	2.5 ~ 3.5	0.05 ~ 0.07	0.030 ~ 0.050	0.001 ~ 0.002	0.005	0.011
热导率 ($10^{-4} \text{ cal}/(\text{s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$) ^①	3 ~ 6	1.7 ~ 7.4	4 ~ 5	3.5 ~ 7.5	—	4 ~ 5
热膨胀系数 ($10^{-5}/^\circ\text{C}$) ^②	5 ~ 9	10 ~ 20	4.5 ~ 6.5	6 ~ 9	4.0 ~ 5.0	—
持续耐热温度 ($^\circ\text{F}$)	250	250	250	400	500	350
弱酸的影响	无	微溶	无	微溶或不溶	耐酸	无
弱碱的影响	无	微溶	无	微溶或不溶	缓慢侵蚀	无
有机溶剂的影响	可被酮类芳香类或卤代溶剂侵蚀	能耐大多数溶剂	通常不溶	对某些溶剂敏感	特别耐溶剂	耐溶剂

涂层选择表

	丙烯酸树脂	聚氨酯	环氧树脂	硅氧烷(硅酮)	聚酰亚胺	DAP
应用	A	B	C	C	C	C
清除(化学法)	A	B	—	C	—	—
清除(燃烧法)	A	B	C	—	—	—
耐磨	C	B	A	B	A	B
机械强度	C	B	A	B	B	B
耐热	D	D	D	B	A	C
耐湿	A	A	B	A	A	A
耐湿(长期)	B	A	C	B	A	A
适用期	A	B	D	D	C	C
最优固化	A	B	B	C	C	C
室温固化	A	B	B	C	—	—
升温固化	A	B	B	C	C	C

性能等级由A至D逐渐下降，A为最佳

有机涂层 organic coatings

❖ 保型涂层工艺

- 喷涂、浸涂、刷涂、气相沉积

❖ 喷涂

- 手工喷涂、自动喷涂

- 不需喷涂的区域，需要掩盖

- 手工喷涂：为保证完全覆盖，四道涂层中的每一道都很薄，大概0.01in，而且每次喷涂后都需要将部件旋转90°

- 使用紫外固化的涂层需要小心，使用黑色管道，因为日光和其他光源都含有紫外光

有机涂层 organic coatings

❖ 浸涂

- 组件浸入到涂料槽中，敏感部位需要掩盖；垂直浸入，而非水平浸入
- 涂层厚度由浸入和拉出的速度决定，拉出速度越慢，涂层越厚
- 浸入速度合适防止夹带进空气，且浸入后保持一段时间，以使气泡散开
- 拉出速度低，材料黏度低，涂层流动，厚度不均
- 有效、低成本

❖ 刷涂

- 刷子
- 劳动密集型，多用于修补工序
- 为避免带入更多气泡，刷一两次就行
- 合适的溶剂或清洗剂，清洗刷子

有机涂层 organic coatings

❖ 气相沉积

■ 真空环境下，通过下列方法，在基板上沉积聚合物薄膜

1. 溅射或者蒸发使聚合物气化__物理气相沉积
2. 挥发化合物的化学反应，形成聚合物__化学气相沉积
3. 两个或者多个挥发性金属有机化合物的反应__金属有机化学气相沉积
4. 稳定的有机化合物的等离子聚合__等离子增强化学气相沉积
5. 稳定的有机化合物的激光聚合

■ 优点

- | | |
|----------------|------------|
| 1. 快速制备，聚合物用量少 | 5. 生长速率可控 |
| 2. 气相能穿透小的缝隙 | 6. 无菌薄膜 |
| 3. 基板上不出现液相 | 7. 容易沉积多层膜 |
| 4. 薄膜高度交联 | |

密封

内容

- ❖ 1. 塑料和弹性体
- ❖ 2. 塑料的性能参数
- ❖ 3. 电子封装用塑料
- ❖ 4. 工艺

电子封装用塑料相关工艺

❖ 分类__不同的书籍分法不同，名字也有出入，该分类为总结性的

■ 1) 层压板

■ 2) 模塑和挤出成型

☐ 中空部件__吹塑、、搪塑、旋转成型

☐ 实心部件__压模、注射模塑和传递模塑

■ 3) 液体包封

☐ 腔体填充__同浇注和灌胶

☐ 圆顶包封

☐ 围堰填充

☐ 底部填充

■ 2) 3) 合称为包封

电子封装用塑料相关工艺

- ❖ 聚合物的加工由其热性能和力学性能决定
- ❖ 聚合物的加工程序分为
 - ❖ 1. 加热软化
 - ❖ 2. 冲模，软化聚合物进入模具或者通过模具成型
 - ❖ 3. 冷却或者固化，最终成型
- ❖ 注：加热有利于他们的加工成型

电子封装用塑料相关工艺

❖ 分类__不同的书籍分法不同，名字也有出入，该分类为总结性的

■ 1. 层压板

■ 2. 模塑和挤出成型

☐ 中空部件__吹塑、搪塑、旋转成型

☐ 实心部件__压模、注射模塑和传递模塑

■ 3. 液体包封

☐ 腔体填充__同浇注和灌胶

☐ 圆顶包封

☐ 围堰填充

☐ 底部填充

■ 2、3合称为包封

层压板,laminates, PCB

❖ PCB组成

- 多用增强的热固性树脂，热塑性树脂在特殊场合也有应用

❖ PCB工艺

- 1. 编织的增强材料（如玻璃纤维）预浸于溶有树脂的溶剂中
- 2. 加热除去溶剂，并使树脂轻微固化，室温下变硬，称半固化片
- 3. 半固化片中间夹有铜片，进行层压，形成PCB

- ❖ 注意：增强材料需要进行预处理，以确保与树脂之间良好的相容性，避免产生脱层、空隙、微裂纹等缺陷

层压板, PCB

- ❖ 特殊场合，使用高性能的热塑性树脂
- ❖ 如氟塑料和液晶聚合物在高频下的应用，其介电常数和介电损耗小，微波应用
- ❖ 也可以把热塑性增强材料加入到热固性树脂中形成复合材料，像热塑性树脂一样进行注射模塑来加工

印刷电路板层压材料性能

层 压 板	玻璃化 温度 T_g (°C)	玻璃化温度以下的热 膨胀系数(ppm/°C)		吸水率 MIL-P- 13949F	介电常数 (@1MHz)	损耗因子 (@1MHz)	抗拉强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	热导率 (W/m°C)
		x,y	z		z	z	x,y	x,y	z
E 级玻纤/环氧	120	12 ~ 16	60 ~ 80	10	4.7	0.021	276	17.4	0.35
E 级玻纤/聚酰 亚胺	220 ~ 300	11 ~ 14	60 ~ 80	25	4.5	0.018	345	19.6	0.35
E 级玻纤/聚四 氟乙烯	75	24	261	—	2.3	0.006	68 ~ 103	1.0	0.26
石英/聚酰亚胺	260	6 ~ 12	34	25	3.6	0.010	—	27.6	0.13
石英/Quartrex	185	—	62	—	3.5	—	—	18.6	—
Kevlar-49/ Qu- artrex	185	3 ~ 8	105	10	3.7	0.030	—	22 ~ 28	0.16
Kevlar-49/聚酰 亚胺	180 ~ 200	3 ~ 8	83	25	3.6	0.008	—	20 ~ 27	0.12

电子封装用塑料相关工艺

❖ 分类__不同的书籍分法不同，名字也有出入，该分类为总结性的

■ 1. 层压板

■ 2. 模塑和挤出成型

☐ 中空部件__吹塑、搪塑、旋转成型

☐ 实心部件__压模、注射模塑和传递模塑

■ 3. 液体包封

☐ 腔体填充__同浇注和灌胶

☐ 圆顶包封

☐ 围堰填充

☐ 底部填充

■ 2、3合称为包封，Encapsulation process, in,-kæpsə'leɪʃən

模塑和挤出成型 molding and extrusion

❖ 模塑, molding

- 塑料成型加工的一种，在压力下（一般还同时加热），借助模具或口模使塑料材料成型的过程

❖ 挤出成型, extrusion

- 粉状或粒状原料在带有螺杆的加热器中熔化、混合、脱去挥发成分成为混合物，通过模具挤出成型

❖ 很多情况下，这两种技术同时使用，因此一起讨论

❖ 中空部件

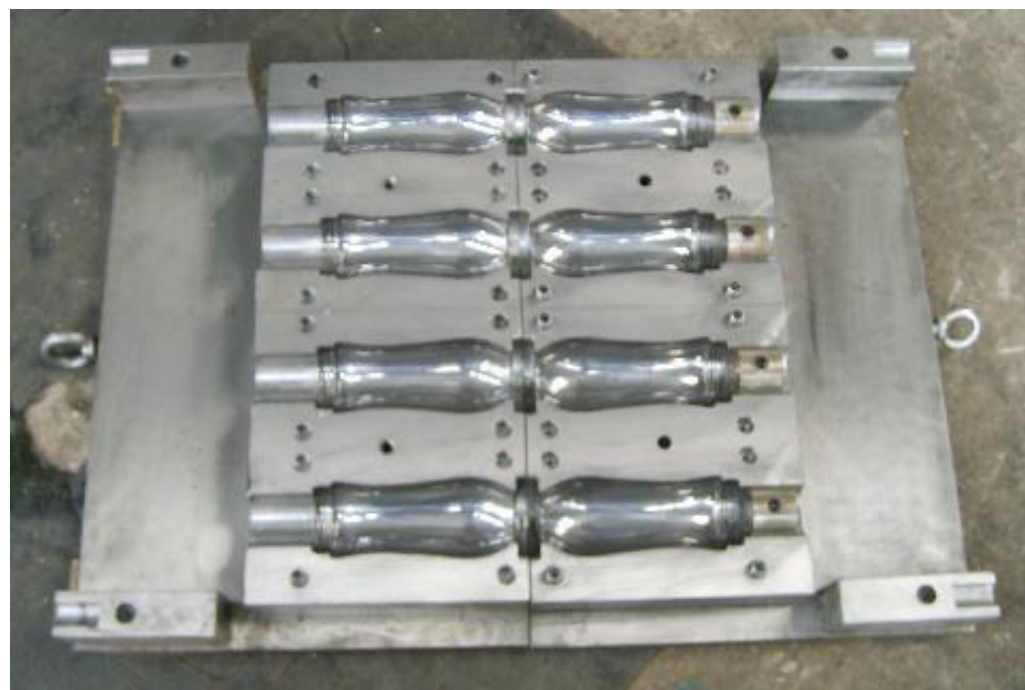
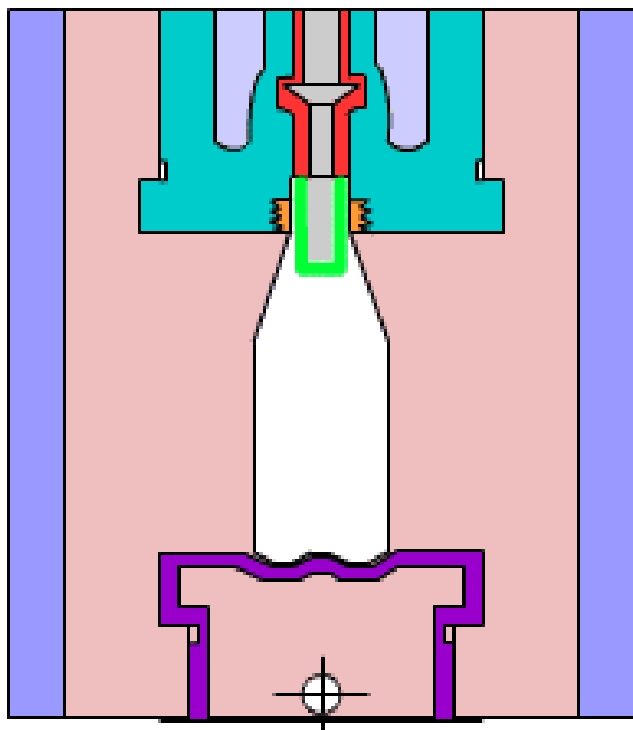
- 可以通过吹塑成型、搪塑或者旋转成型制备

❖ 实心部件

- 可以通过压模、注射模塑和传递模塑来制备

模塑和挤出成型 molding and extrusion

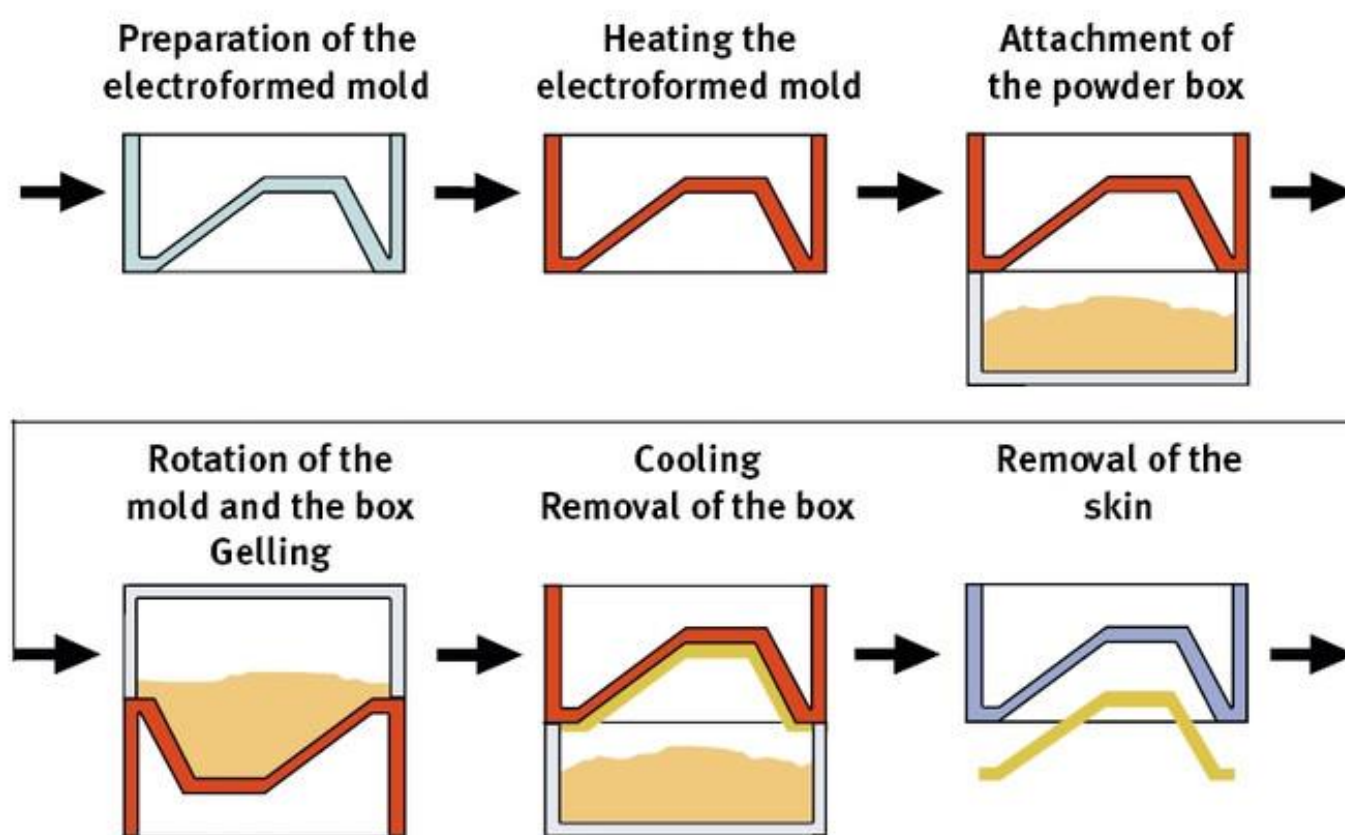
❖ **吹塑: Blow Molding** 从挤出器挤出的热塑性管放入仍在加热的型腔内，在气体压力的作用下膨胀，进入模具，开模后将部件顶出。



模塑和挤出成型

❖ **搪塑：Slush Molding** 用于空心制品，如玩具、汽车表盘

- 热固性树脂为原料，灌入加热的模具中，接近模具内壁处的树脂先固化，在树脂未完全聚合前开模，倒出中心未固化的材料，然后将部件转移至烘箱使其完全固化

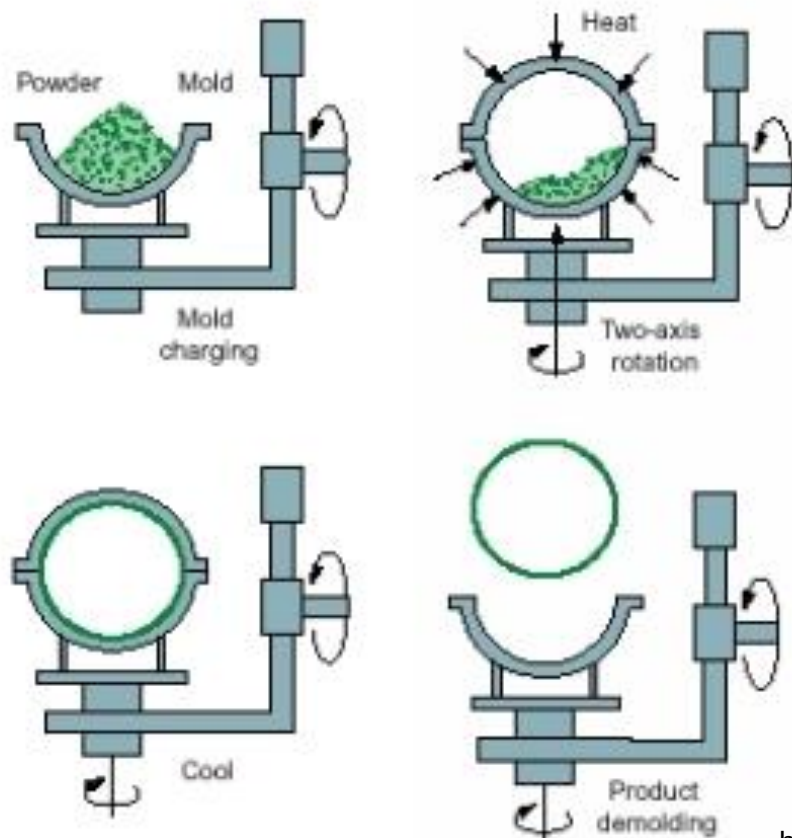




❖ 旋转模塑：Rotational Molding

❖ 模具内部被旋转涂覆，当模具的内表面足够厚时，去除未反应或者过量的材料

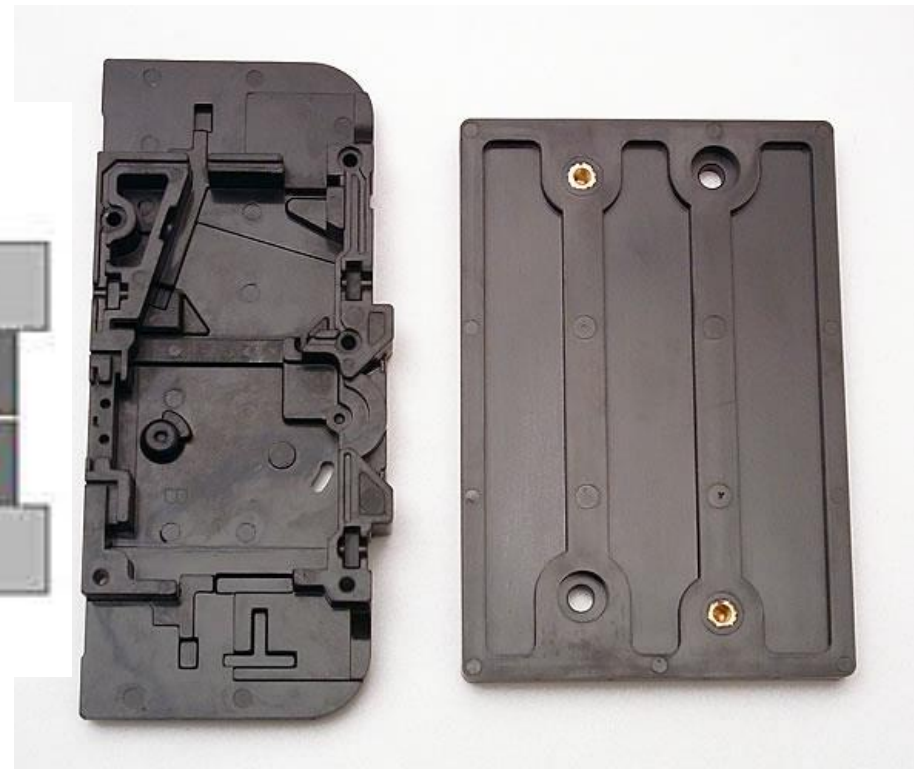
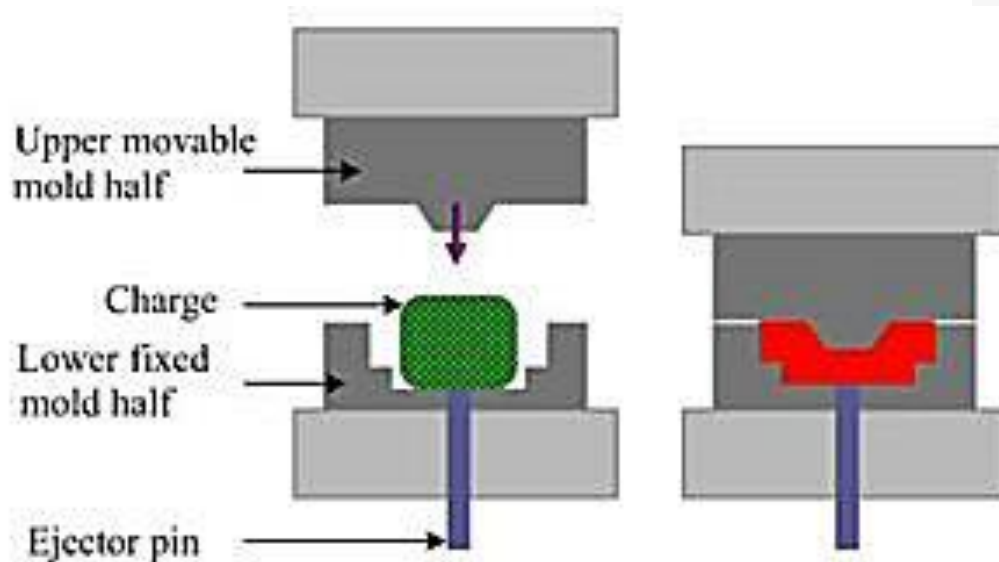
Rotational molding



模塑和挤出成型

❖ 压模，compression molding

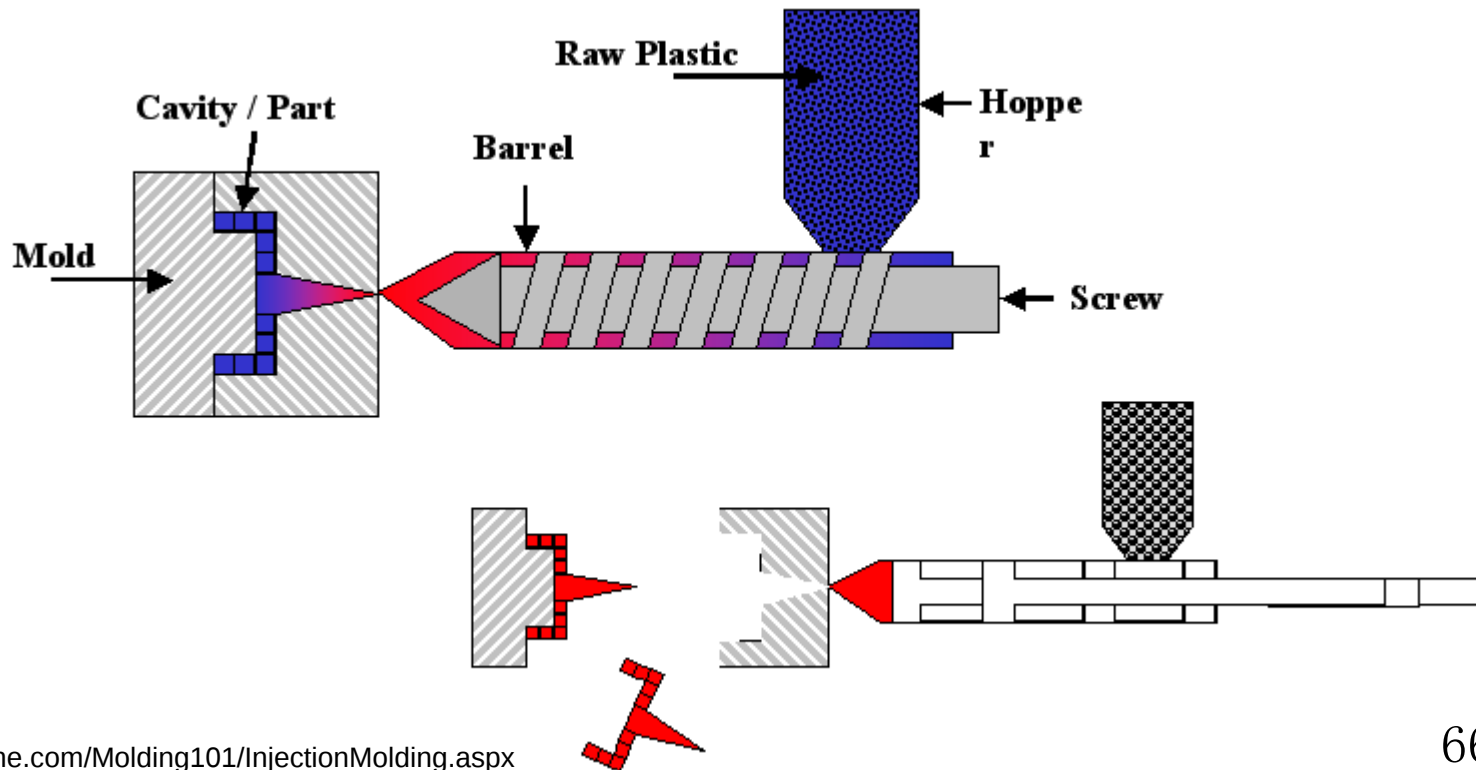
- 热塑性树脂或者B型的热固性树脂粉末在模具中加压加热（未完全固化的热固性树脂称B型），流动填充模具，经加热固化或者冷却凝固后，将部件从模具中取出。



模型和挤出成型

❖ 注射成型（又名注射塑模，注模），injection molding

- 原料（热塑性或者热固性粉末）被加热软化后，被压入模具，快速固化，然后从模具中取出。



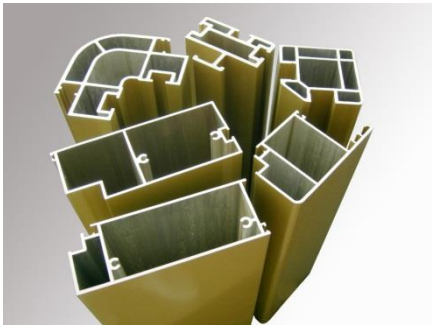
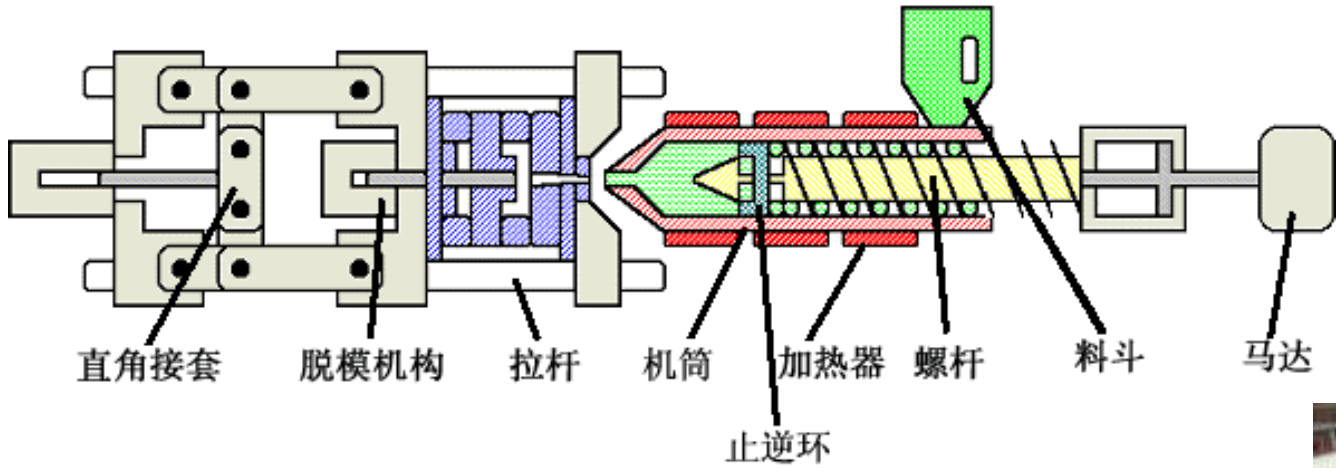
模塑和挤出成型——注射成型



合模装置（连杆式）模具



注射装置



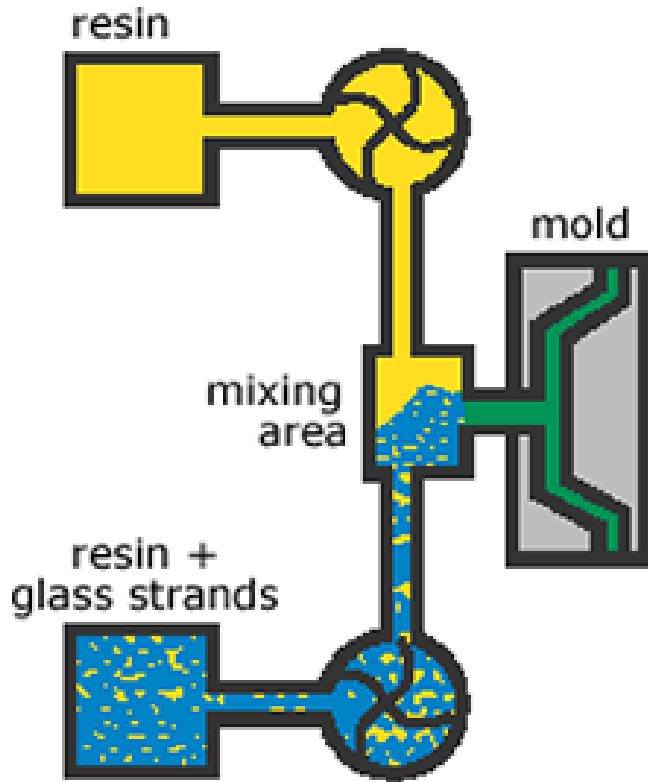
http://tupian.hudong.com/a3_10_47_01300000239140124253471857031_gif.html

<http://www.nb-taili.com/zhushuji.htm>

<http://cn.made-in-china.com/showroom/yzsczs/offer-detailqXaExlZJVphf/Sell-%E6%B3%A8%E5%A1%91%E4%BB%B6.html>

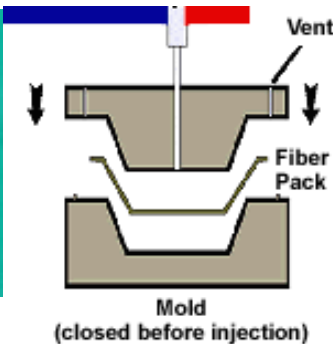
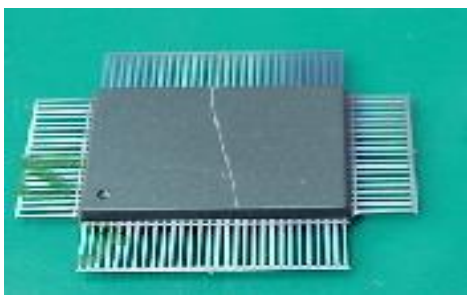
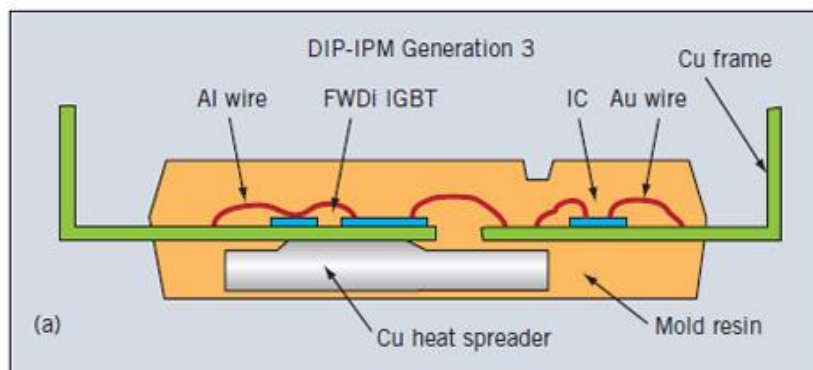
模型和挤出成型

- ❖ 反应注射成型，Reaction injection molding
- ❖ 不同物料泵送至混合腔混合，然后注入模具

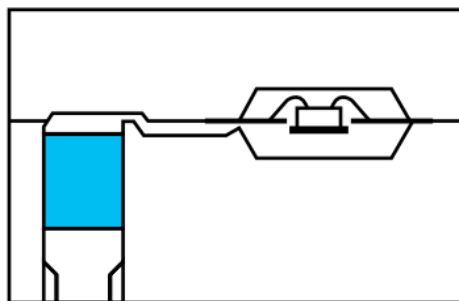


模塑和挤出成型

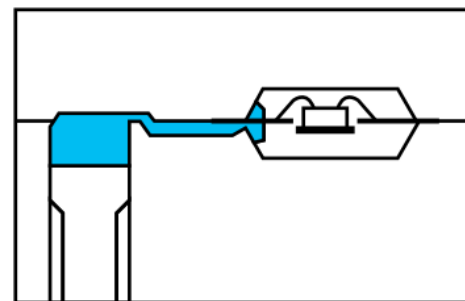
- ❖ 传递模塑, transfer molding
- ❖ 热固性树脂加热熔化, 通过浇道压入模具, 固化后开模
- ❖ 抽真空可以减小模塑制品中的空隙量
- ❖ 浇道、排气孔、压力、保压
- ❖ Die需要固定么?



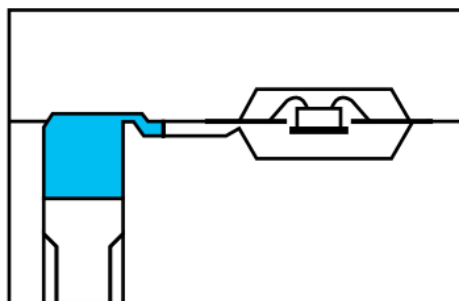
典型的递模成型工艺



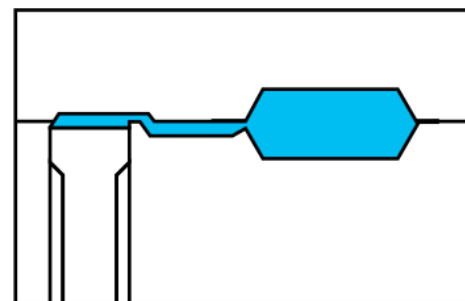
(a)



(c)



(b)



(d)

电子封装用塑料相关工艺

❖ 分类__不同的书籍分法不同，名字也有出入，该分类为总结性的

■ 1. 层压板

■ 2. 模塑和挤出成型，区别？

☐ 中空部件__吹塑、、搪塑、旋转成型

☐ 实心部件__压模、注射模塑和传递模塑

■ 3. 液体包封

☐ 腔体填充__同浇注和灌胶

☐ 圆顶包封

☐ 围堰填充

☐ 底部填充

■ 2、3合称为包封，Encapsulation process, in,-kæpsə'leifən

液体包封

- ❖ 引脚间距小、low-gap device
- ❖ 包封料加热呈液态，包裹或填充相应区域，冷却
- ❖ 四种形式
 - 腔体填充 cavity encapsulation 'kævəti
 - 圆顶包封 glop top encapsulation
 - 围堰填充 dam-and-fill encapsulation
 - 底部填充 underfilling
- ❖ 液体包封，非密闭体系
- ❖ 模塑，接近密闭

液体包封__腔体填充 Cavity Filling

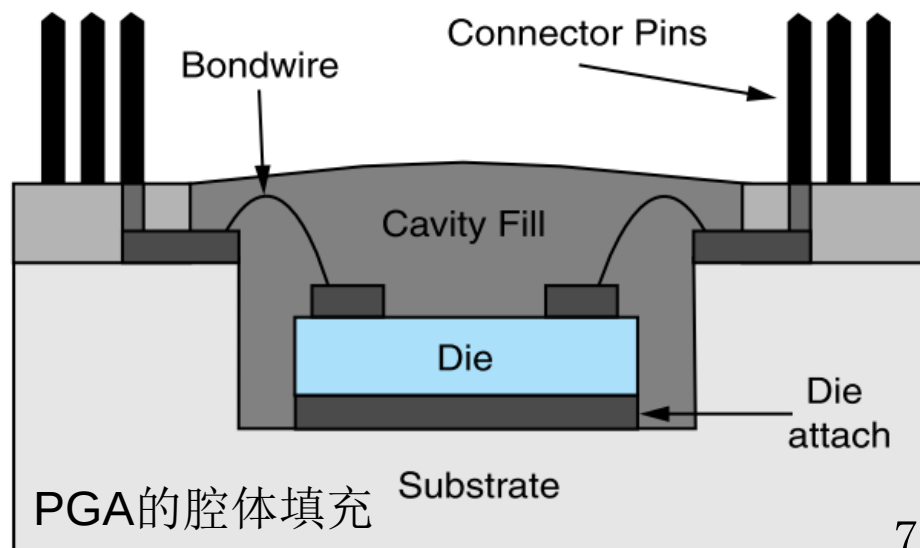
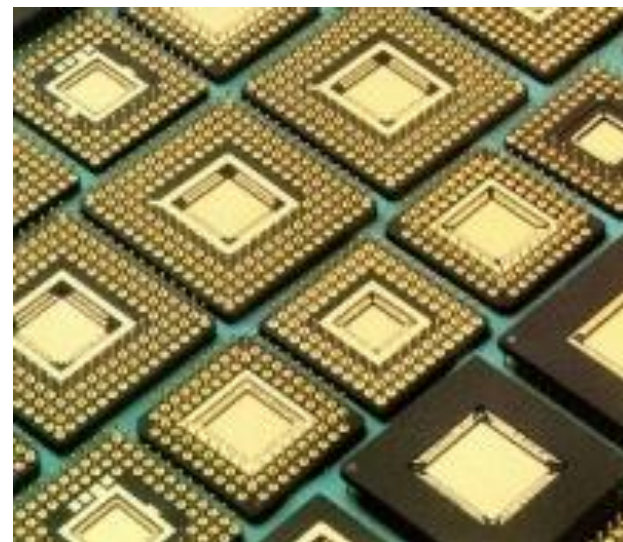


❖ 腔体填充_同浇注和灌胶

- 多用于陶瓷芯片载体中，也可用于其他基板

❖ 过程

- 机械加工方法，在陶瓷基板上得到腔体，该陶瓷基板预先布有导线和焊盘
- 装片和导线键合后，腔体用液态包封剂注满，来保护芯片不受环境污染和机械破坏



液体包封__圆顶包封 glop top encapsulation

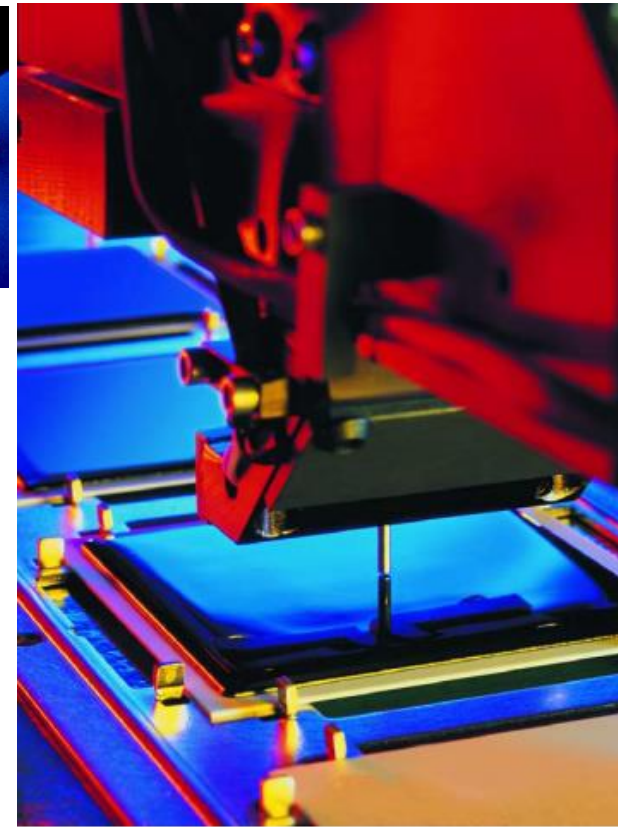
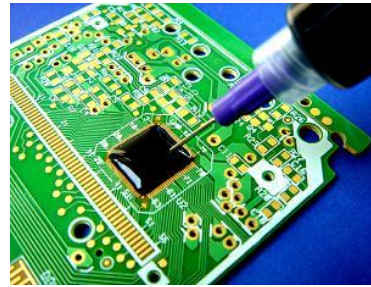
❖ Glop, 黏糊状液体

❖ 从顶部流下

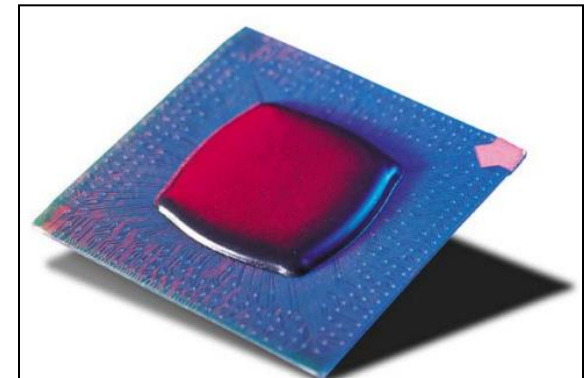
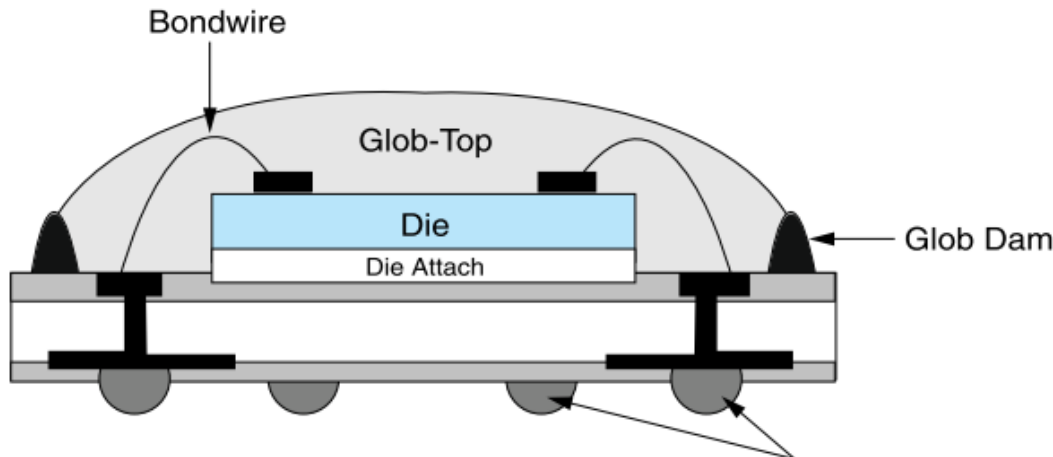
■ A volume of material is deposited on top of a component. The material flows downward, covering the component.

❖ 无边界

■ There's no border around the material, so it can flow to the area immediately around the component.



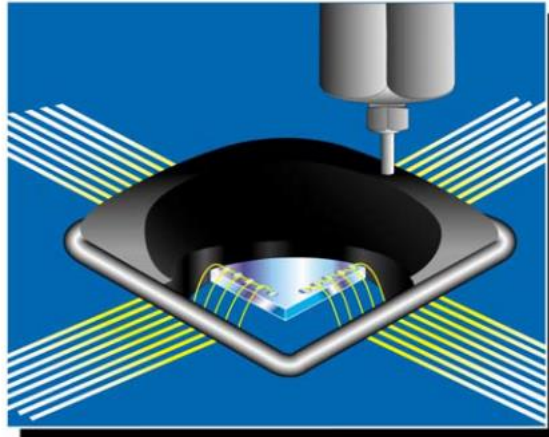
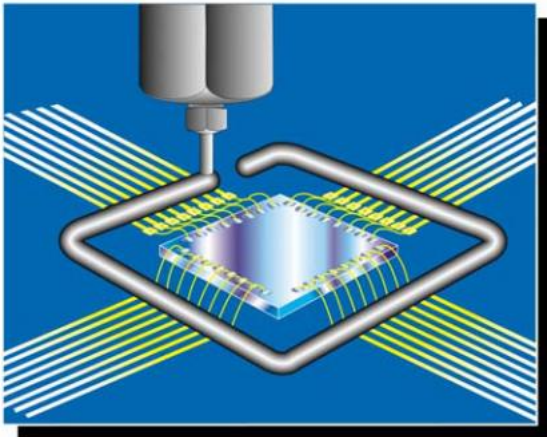
From *Liquid Encapsulation Protects Electronic Components*



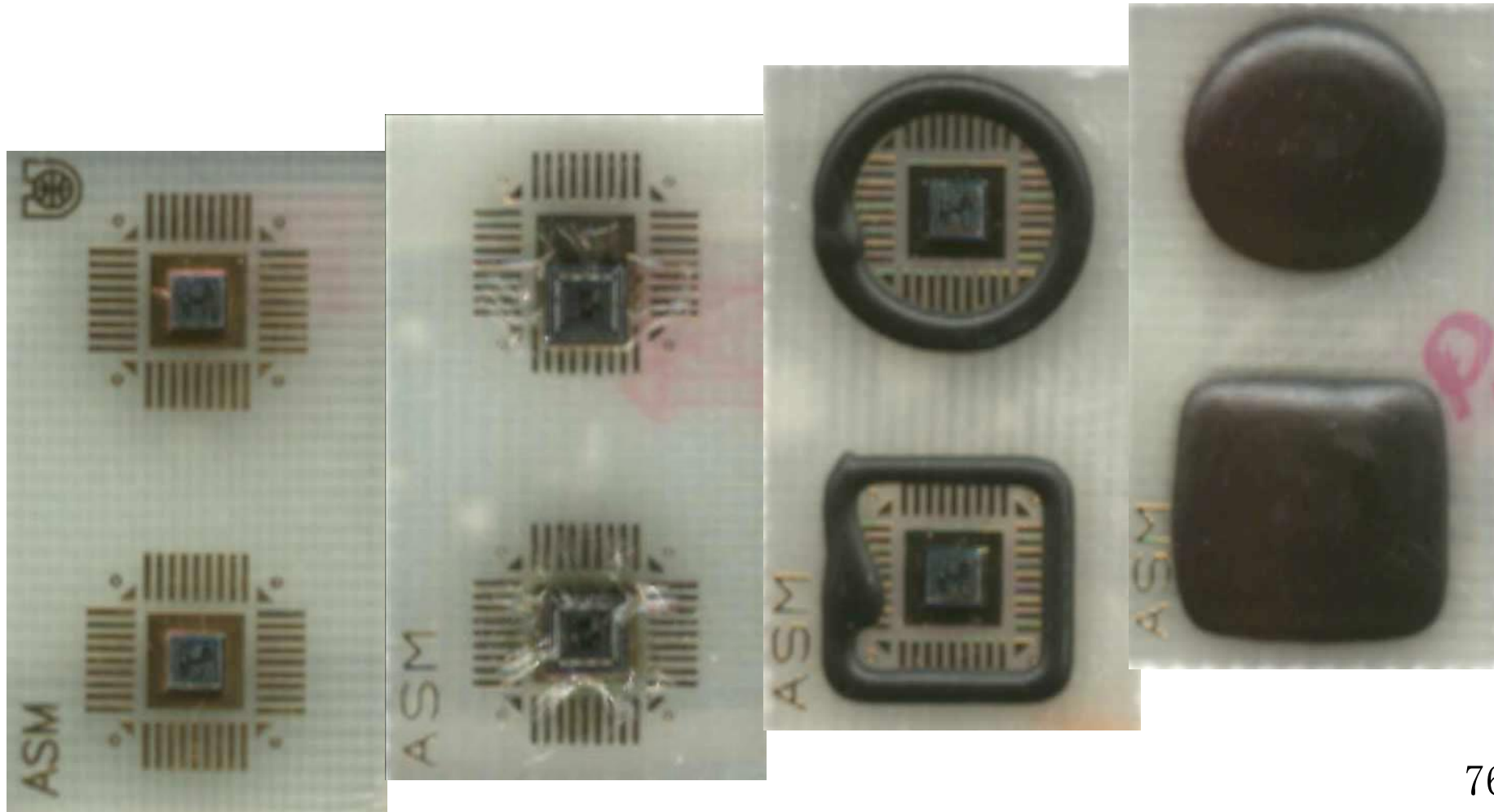
Glob-topping a ball grid array (BGA) device.

液体包封__围堰填充 dam-and-fill

- ❖ **Dam-and-fill encapsulation** is a two-step process.
Dam 堤、坝
- ❖ 围_高粘度于四周
 - First, a high-viscosity encapsulant is dispensed around the component .
- ❖ 填_低粘度于中间
 - Then the dam is filled with a lower viscosity fill material.



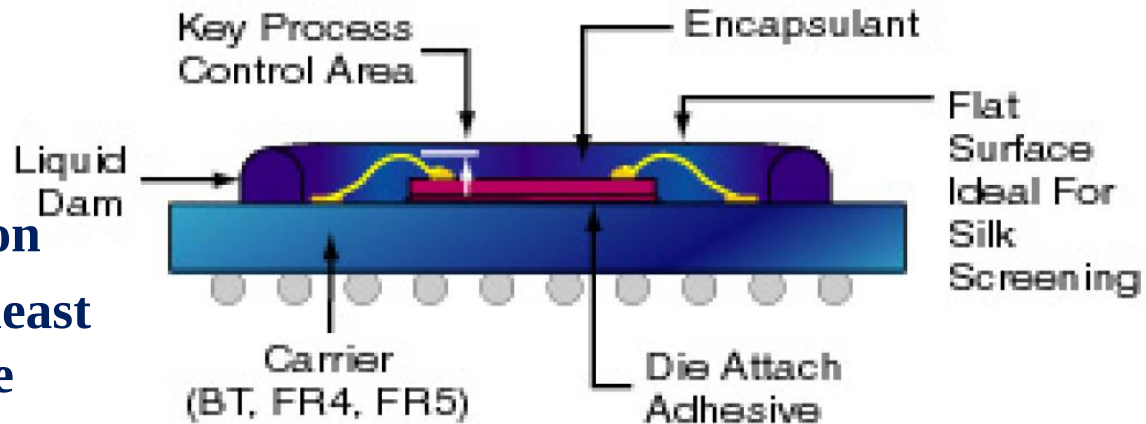
Chip on Board_COB_板上芯片_围堰填充



液体包封——围堰填充 dam-and-fill

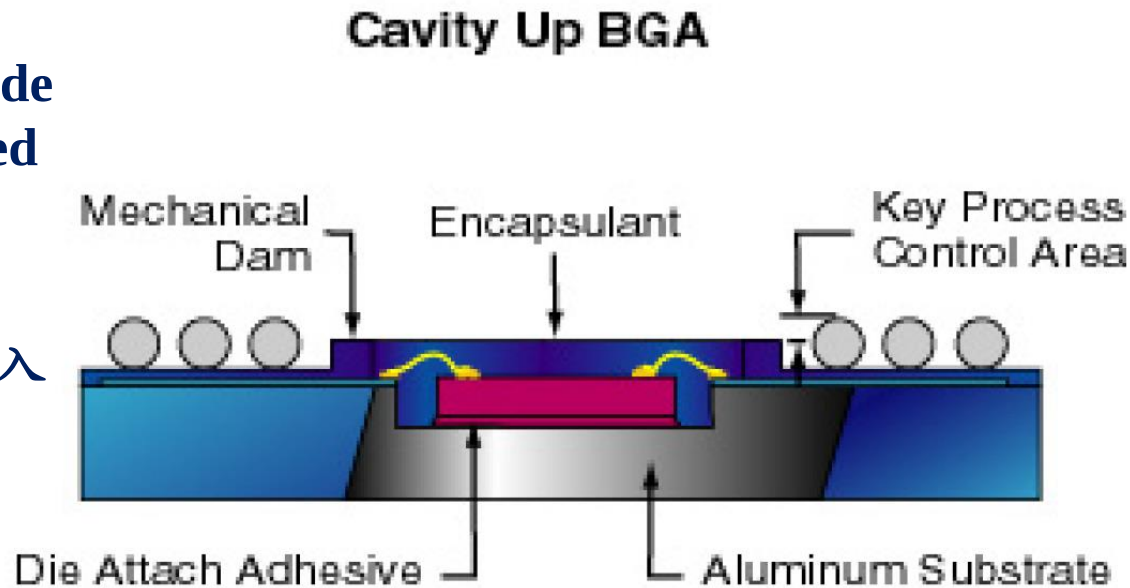
❖ Cavity up BGA

- Cavity 腔
- **Dam-and-fill** encapsulation
- Dam height should be at least 0.010 inch higher than the highest wire bond.



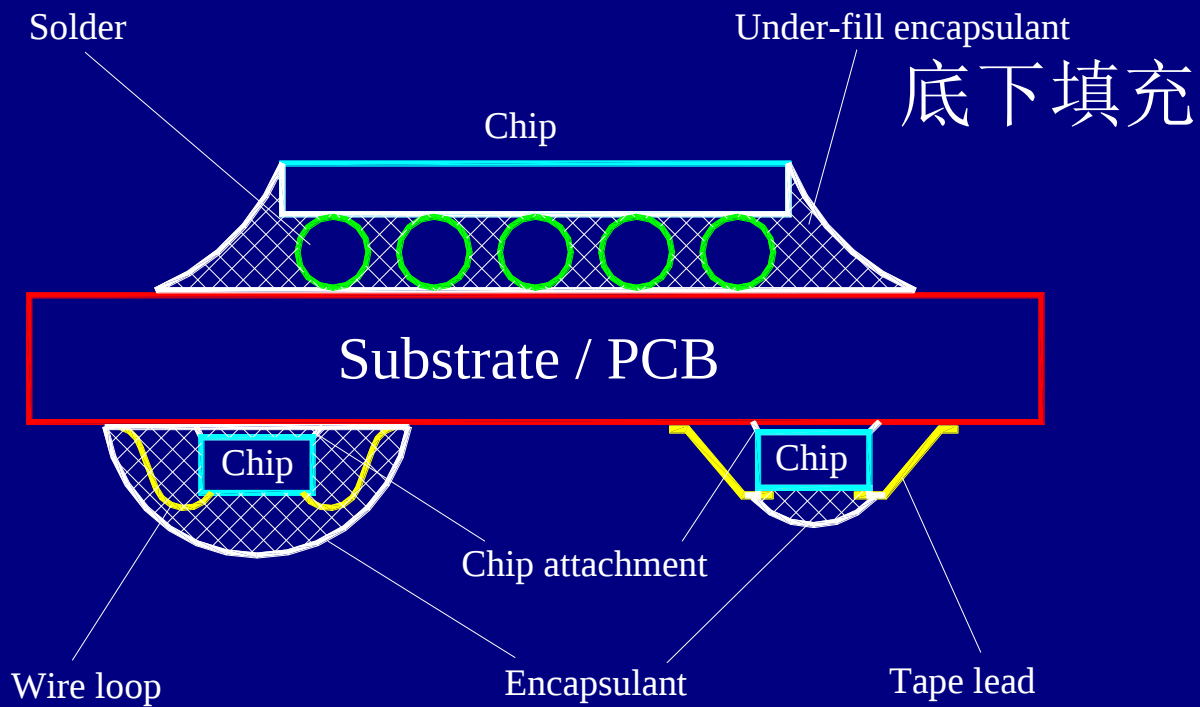
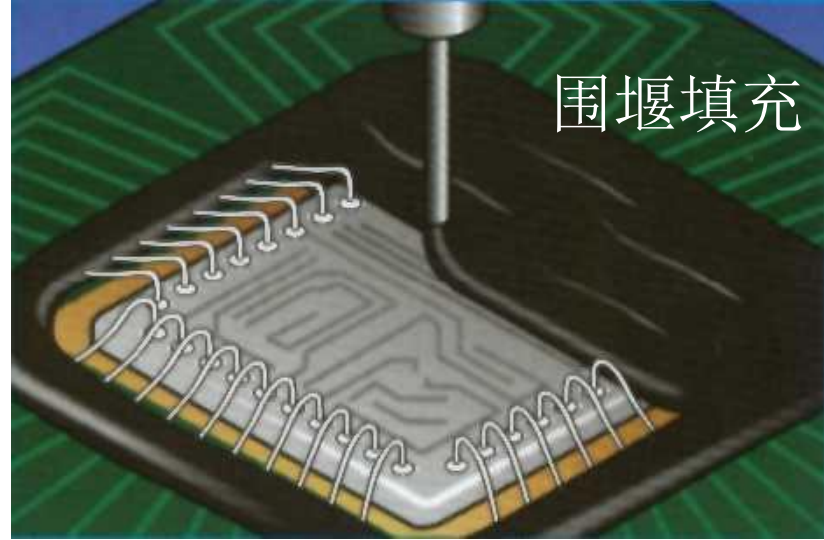
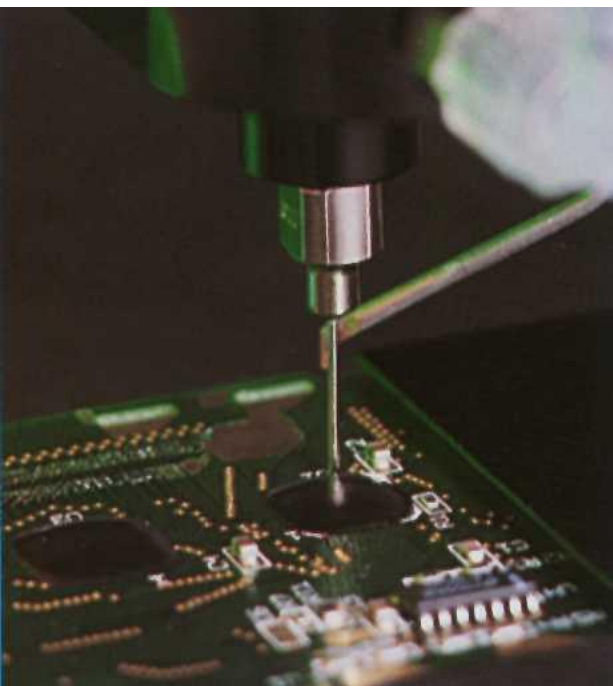
❖ Cavity down BGA

- The cavity walls can provide containment, so a dispensed dam may not be required
- 弊端?
- 包封占据面积大，无法植入更多焊球



Cavity Down BGA

直接板上组装-液体包封



- ❖ Flip chip BGA
- ❖ 焊料凝固到室温，晶片die和基板substrate的CTE不同，导致焊球上的应力，引起失效
- ❖ Die Si, $2.6 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$;
- ❖ Substrate alumina, $6.6 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$
Laminate $15 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$

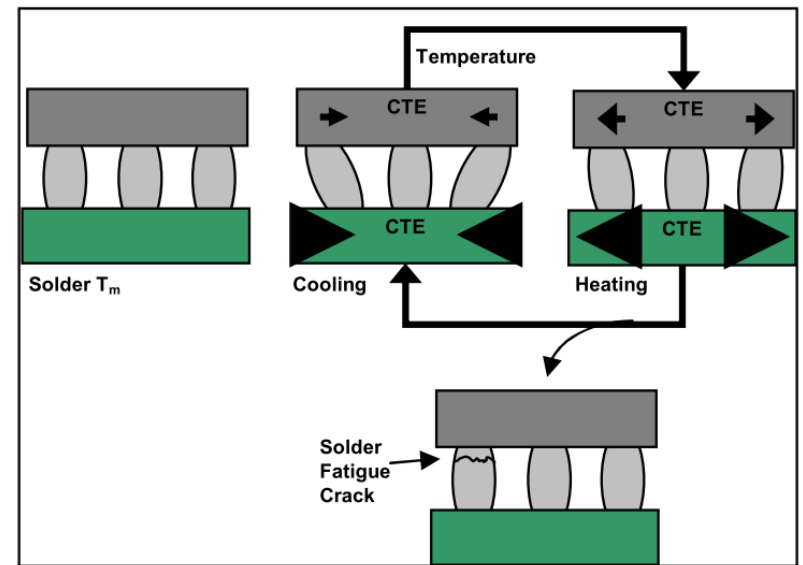
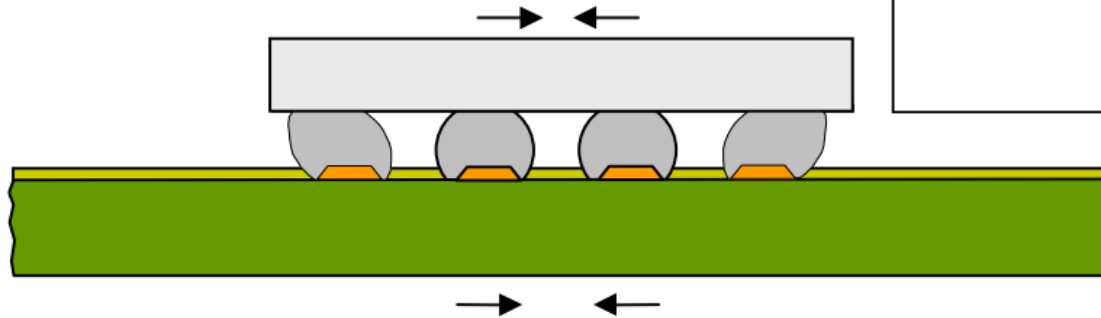


Figure 1. Illustration of Stress on Solder Joints Due to CTE mismatch when Assembly is Cooled from Solder Solidification Temperature to Room Temperature. The substrate contracts more than the silicon die during cool down.

液体包封__底部填充__热应力

- ❖ 引入底部填料，温度变化时对整体有翘曲作用，可降低BGA焊球上的应力，提高可靠性
- ❖ 底部填料的粘结性，将应力转移至更大的范围，而不是在焊球处集中

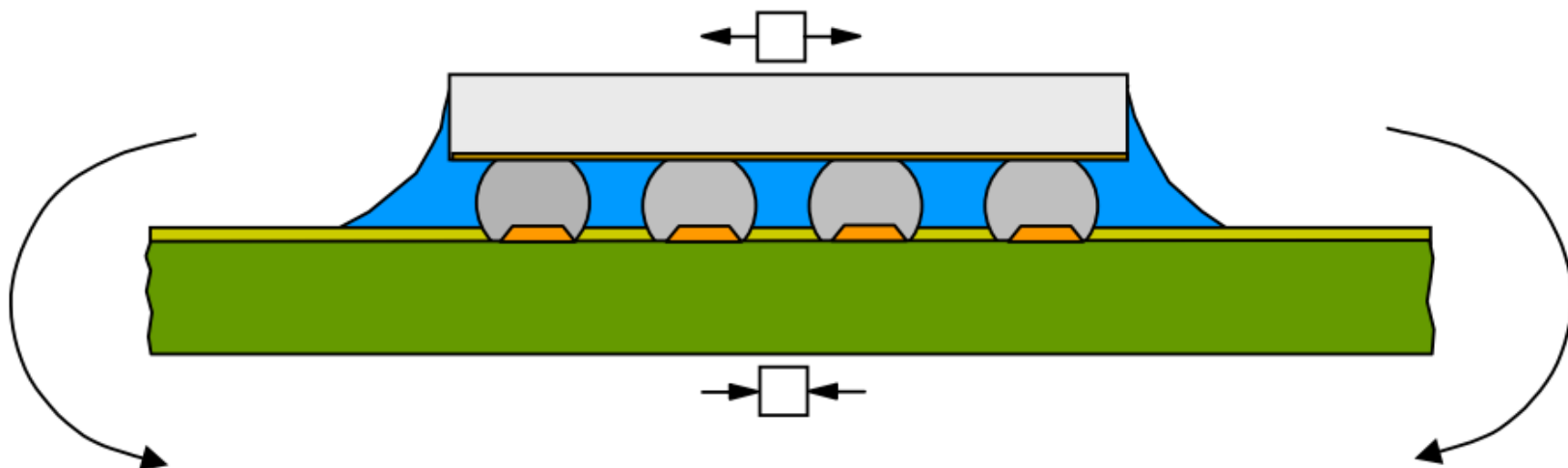


Figure 2. Warpage when Underfilled Structure is Cooled from Underfill Cure Temperature to Room Temperature.

- ❖ 工艺上如何实现？

液体包封__底部填充 underfilling

- ❖ 倒装焊的关键步骤
- ❖ 填充料从针头注射到芯片边缘
- ❖ 液体进入动力？且分布均匀？
- ❖ 利用毛细管力
- ❖ Capillary Underfilling

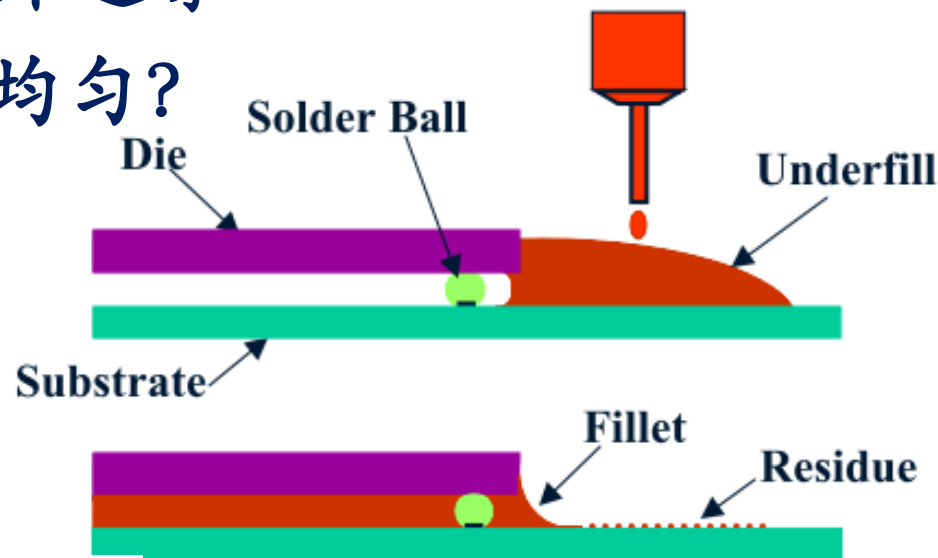
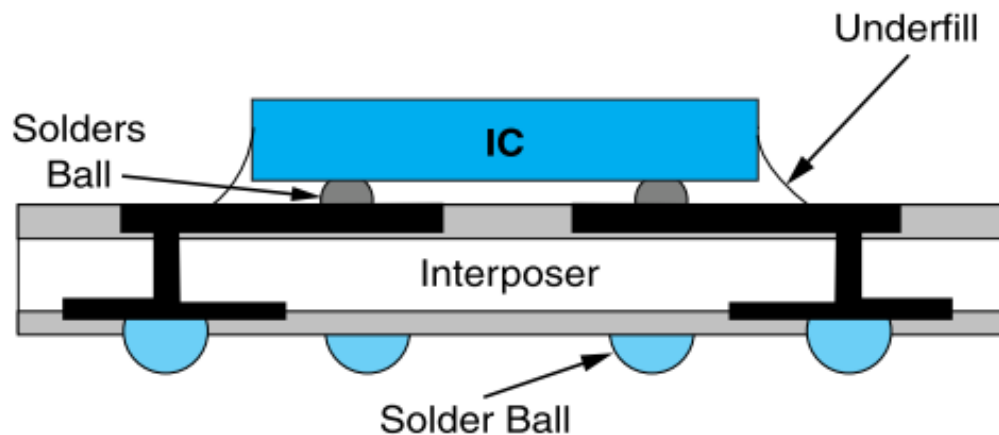


Figure 3. Illustration of Capillary Underfill Process.

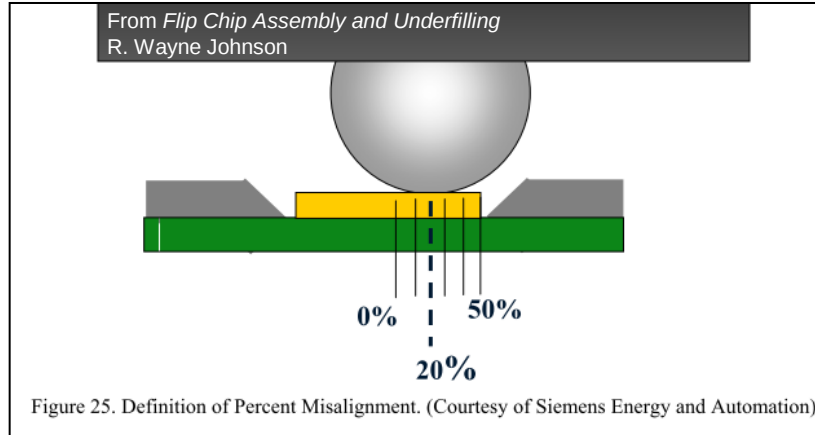


A typical flip chip ball grid array.

液体包封——底部填充

❖ 工艺的关键?

❖ 如何衡量流动性?



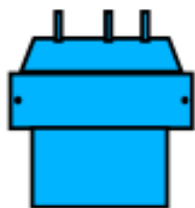
Pick Die



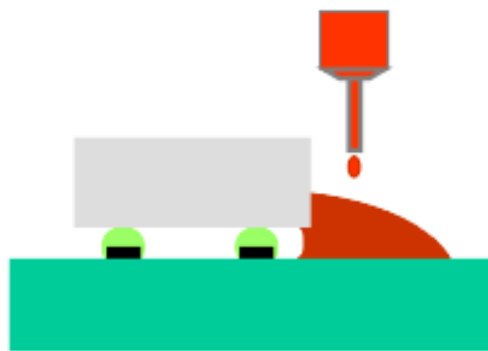
Flux



Place Die



Reflow



Dispense Underfill



Cure Underfill

Figure 18. Illustration of Flip Chip Assembly with Capillary Flow Underfill.

流变性

- ❖ 塑模封装/液体封装，包封料一开始是固态的，随后变成液体，其流动特性对于整个过程的质量至关重要。
 - 其他的液态封装材料，如底部填充材料、腔体填充材料、封顶材料、保型涂层等都需要有好的流动性
- ❖ 好的流动性：指润湿性能好，形成无空隙的填充
- ❖ Washburn等式描述了一个简单平板流体模型，即填充材料在芯片和基板之间流动所需的时间为

$$t \cong \frac{3\eta L^2}{h\gamma \cos\theta}$$

η 粘滞系数_小； L 流动距离； h 芯片和基板之间的间隙；
 γ 表面张力_大； θ 润湿角_小

- ❖ 如何得到短的填充时间？
- ❖ 如何测量？

❖ 填充时间的测试方法

$$t = \frac{3 \mu L^2}{h \gamma \cos \theta}$$

t = flow time

μ = absolute viscosity

L = distance traveled

h = gap height

γ = surface tension

θ = wetting angle

A

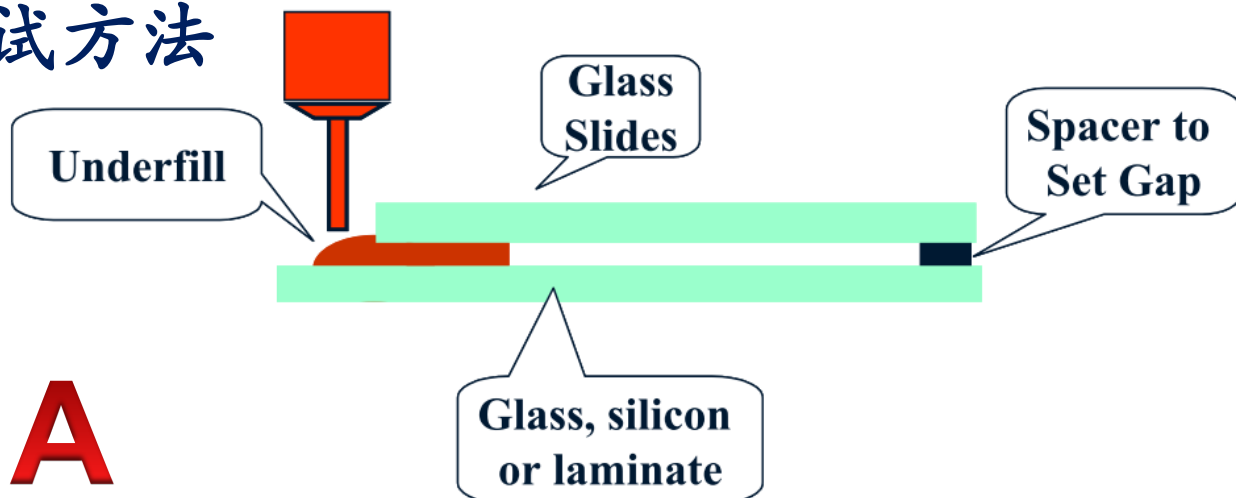


Figure 32. Test Set-up for Measuring Underfill Flow Rate.

$$X^2 = (\gamma/\mu) * d * f(\alpha, \theta) * t$$

X = distance traveled

t = time

γ = surface tension of fluid

μ = viscosity of fluid

d = characteristic depth of groove

$f(\alpha, \theta)$ = function of groove and contact angle

B

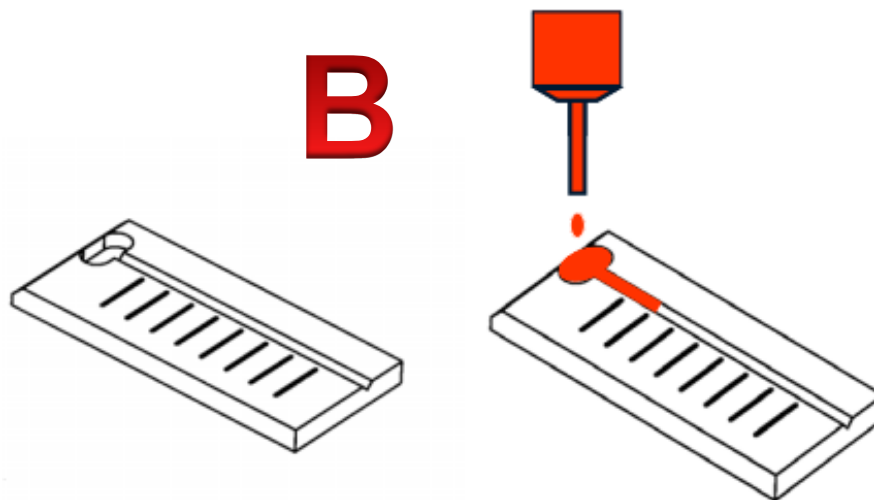
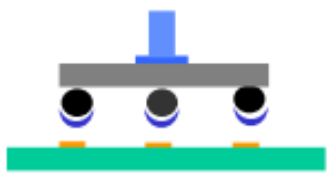


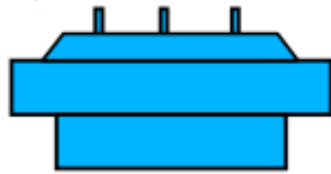
Figure 33. Sandia National Laboratory Underfill Flow Test Method.

Capillary and fluxing underfill 工艺

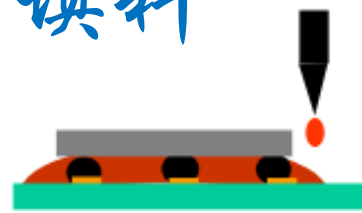
毛细管型和助焊剂型下填料



Die Placement



Solder Reflow



Underfill Dispense



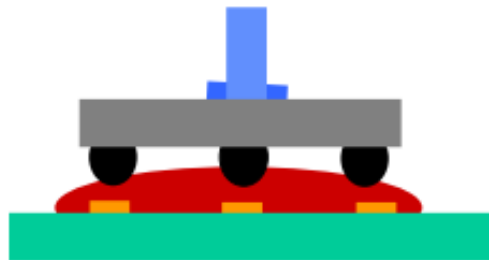
Underfill Cure

Figure 1.4 Capillary underfill process flow

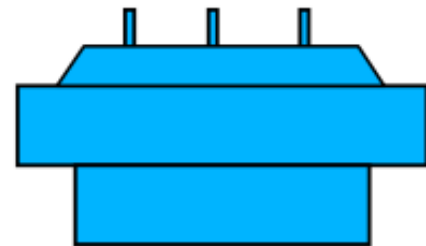
可否简化工艺，先铺展，再对接？



Fluxing Underfill Dispense



Die Placement



Solder Reflow & Underfill Cure

Figure 1.5 Fluxing underfill process flow



Reflow/Cure

倒装焊底部填料的性能要求

Properties		Desirable Values	Comments
Flow	流动性	>0.5 mm/s	Fast flow with no air bubbles entrapment 夹杂
Adhesion	粘附强度	>50 MPa shear force	Key to device protection
CTE		18–30 ppm/°C	Matches CTE of solder (26 ppm/°C)
Elongation	延伸率	>1%	Resists CTE mismatch stress 抗CTE失配应力
Modulus	弹性模量	5–8 GPa	Provides mechanical coupling
T_g		>130°C	Maintains dimensional stability 保持尺寸稳定
Stress after cure	固化后的强度	<10 MPa	Minimizes internal stress caused by shrinkage of polymer 因收缩引起的内部应力最小化
Water pickup	水汽吸收率	<1%	Reduces moisture-induced failures
Ionic impurities (Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , Br ⁻)		<10 ppm	Prevents corrosion and metal electromigration
Thermal stability, 1% weight loss	热稳定性	>260°C	Prevents underfill decomposition during solder reflow
Curing time at 160°C		<0.5 hr	Maintains good product output
Volatility during cure	挥发性	<1% weight loss	Maintains correct stoichiometry
Pot life at RT, 20% increase in viscosity	粘度提高20%，室温下的储存时间	>8 hr	Provides long usable underfill life

- ❖ 本资料仅作教学之用
- ❖ 部分资料来自网络
- ❖ 如果传播，请注明 哈尔滨工业大学（威海）王华涛