

适用于高频信号传输HDI板的 塞孔树脂的研制

Paper Code: S-019

陈洪 丁杰 王扩军 唐章军
(深圳市板明科技有限公司, 广东 深圳 518105)



摘要 文章通过选取不同特性的环氧树脂进行科学的复配以及合理地使用固化剂组使得BTH-8000系列塞孔树脂具有较高的耐热性, 固化物 T_g 值高达 $176\text{ }^\circ\text{C}$ (TMA法)。研究表明, 纳米添加剂的使用大大提高了BTH-8000系列塞孔树脂的触变性, 对升温固化程序适应性更强, 彻底杜绝了塞孔过程中的渗墨现象。BTH-8000系列塞孔树脂的电性能评测表明, 其介电常数远低于目前市场中使用的塞孔树脂产品以及行业标准, 达到3.65, 且损耗因子仅为0.0089。体积电阻率高达 $1.03 \times 10^{16}\ \Omega \cdot \text{cm}$, 大大高于目前市场中使用的塞孔树脂产品。塞孔应用试验证实, 塞孔饱满无收缩, 与铜结合良好。所以, BTH-8000系列塞孔树脂的性能完全达到了国际先进水平, 可以替代进口产品的使用, 降低企业的生产成本。

关键词 塞孔树脂; 介电常数; 玻璃化转换温度; 高频线路板; 纳米材料

中图分类号: TN41 文献标识码: A 文章编号: 1009-0096 (2015) 增刊-0372-09

Development of Plugging Resin Used in High-frequency Radio HDI Board

CHEN Hon DING Jie WANG Kuo-jun TANG Zhang-jun

Abstract It makes BTH-8000 series plugging resin as high heat resistance as well as T_g values up to $176\text{ }^\circ\text{C}$ (TMA) that the coordination of different characteristic epoxy resins and application of suitable curing agent group were scientifically used. The study indicates that the use of nano additive can greatly improve the thixotropic property of the BTH-8000 series plugging resins, and meanwhile the plugging resin overflow phenomenon is completely eliminated. The electrical performance testing for BTH-8000 series plugging resins shows that the dielectric permittivity is only 3.65 and the dielectric loss value is 0.0089 which is lower far than that of the products used in the present market and the industry standards. Volume resistivity reaches to $1.03 \times 10^{16}\ \Omega \cdot \text{cm}$, which is also much higher than the currently products used in the market. Via hole filling application test confirms that the cured resin has no shrinkage and good combination with the copper layer. Therefore, BTH-8000 series plugging resin performance is as good as that of those international advanced products to replace the imported products absolutely. Thus, the production costs can be reduced for the enterprises.

Key words Plugging Resin; Dielectric Permittivity; Glass transition temperature; High-frequency circuit board; Nano materials

1 前言

在无线网络、卫星通讯日益发展的今天,信息产品走向高速与高频化以及通信产品走向容量大速度快的无线传输之语音、视像和数据规范化,使得电子设备高频化成为发展趋势。而移动互联技术的飞跃进步要求PCB上能传输高频信号而不至于衰减。因此,发展新一代产品需要高频基板,这就要求卫星系统、移动电话接收基站等通信产品必须采用具有高耐热性和低介电常数的高密度互联(HDI—High Density Interconnector)板。这就要求应用于HDI板和多层板的塞孔树脂与其性能相匹配^[1]。

高密度连接技术(HDI)的发展,线宽与线距朝着愈小愈密的发展趋势,因此衍生出了很多形态的PCB结构出现(图1)。在电路板次外层加工前,次外层的埋孔需要依靠压合时的半固化片与RCC(Resin Coated Copper涂树脂铜箔)来填充,由于半固化片或RCC中的树脂含量有限,当遇到内层芯板较厚、孔径较大、埋孔较多等情况下,半固化片或RCC在填充的同时会留下凹痕。这种凹痕会对后续加工产生较大影响,一方面外层走线如果经过凹陷处会造成线路缺口短路等缺陷;如果平面不平整,会导致介质层厚度不均匀而影响阻抗,从而影响信号传输的完整性。因此,各个线路板内层埋孔通常要求完全填满研磨平整以增加外层的布线面积^{[2][3]}。

目前,我国PCB行业在HDI塞孔树脂方面,绝大部分采用进口产品,主要是因为其性能稳定,但是价格高昂^[4]。本文通过研究不同特性的环氧树脂进行科学的复配,合理地使用固化剂组制得BTH-8000系列塞孔树脂,具有高玻璃化转变温度(Hi-Tg)、低热膨胀系数(Low-CTE)、低吸水性、低收缩率、低介电常数、容易研磨等特性,此系列塞孔树脂完全能替代进口产品,满足高频信号传输HDI板的塞孔需求,有效地降低企业生产成本。

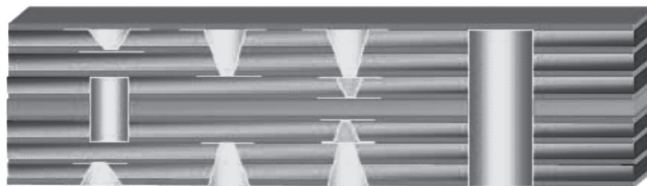


图1 常见的HDI板结构图

2 BTH-8000系列塞孔树脂的性能

2.1 BTH-8000系列塞孔树脂固化后的玻璃化转变温度 (T_g)

由于塞孔油墨填充在孔当中,受热情况时,对于x、y方向不明显,在z方向树脂的热膨胀效应较明显。因此,HDI通常要求塞孔树脂固化后的 T_g 大于FR-4介质材料的 T_g ,PCB行业要求 140°C 以上。

BTH-8000系列塞孔树脂固化后,使用TMA法测试此系列 T_g 值处于 $165.67^\circ\text{C}\sim 176.31^\circ\text{C}$ 之间如表1,当前同类塞孔树脂固化后的 T_g 值大都介于 $(110\sim 170)^\circ\text{C}$,因此BTH-8000系列塞孔树脂在同类产品中属于高 T_g 值产品,完全适用于HDI板的耐热性要求。

表1 BTH-8000系列塞孔树脂的性能

性能项目	测试方法/标准	BTH-8000 系列
T_g	TMA	$165.67\sim 176.31^\circ\text{C}$
CTE	TMA (α_1)	$0.00327\%\sim 0.003383\%$
介电常数	ASTM D150-11	$3.65\sim 3.92$
损耗因子	ASTM D150-11	$0.0089\sim 0.0104$
体积电阻	ASTM D257-2007	$1.03\times 10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$
介电强度	IEC 60243-1:2013	18.56kV/mm
吸水率	GB 1034	0.13%

2.2 BTH-8000系列塞孔树脂的线性热膨胀系数 (CTE)

从材料方面来说, 由于HDI介质层薄的特点, 如果材料的CTE过高, 往往会发生分层或龟裂现象, 尤其在回流焊之后的埋孔密集区域会有非常明显的不同程度的凸起, 最终会导致内部裂纹和分层。因此塞孔树脂与介质材料都宜选用较低CTE的无铅材料, 且要求与层压的RCC或FR-4的树脂以及孔壁铜能够相匹配^{[2][5]}。

当温度低于玻璃化温度 T_g 时, 材料处于玻璃态, 此时的热膨胀系数 (CTE) 为1; 而当温度高于玻璃化温度 T_g 时, 材料处于高弹态, 此时的热膨胀系数 (CTE) 为2。通常行业取1, 且要求 $CTE < 0.005\%$ 。因为高于 T_g 值的热膨胀系数2变化较大, 且不同产品的 T_g 值差别较大, 不具有比较性。

BTH-8000系列塞孔树脂使用TMA法测试1处于 $0.00327\% \sim 0.003883\%$ 之间如表1, 当前同类产品中1处于 $0.0025\% \sim 0.0055\%$ 之间, 从数据就可以看出BTH-8000系列塞孔树脂在同类产品中属于较低热膨胀系数产品, 能够与HDI的介质材料匹配良好。

2.3 BTH-8000系列塞孔树脂的介电常数与损耗因子

移动互联技术的飞跃进步要求PCB上能传输高频信号而不至于衰减, 这就要求HDI中介质材料介电常数与损耗因子必须尽可能小且很稳定。因为信号的传送速率与材料介电常数的平方根成反比, 高介电常数容易造成信号传输延迟。而损耗因子越小, 即信号传输过程中信号损失小。因此, 高频HDI板要求塞孔树脂也要具有低介电常数与低的损耗因子。

BTH-8000系列塞孔树脂检测介电常数与损耗因子如表-1所示, 其介电常数 $3.65 \sim 3.92$ 之间, 同类主流产品介电常数通常是大于 4.50 ; BTH-8000系列塞孔树脂损耗因子 $0.0089 \sim 0.0104$ 之间, 同类产品损耗因子一般大于 0.0090 。从数据可以看出BTH-8000系列属于低介电常数、低损耗因子的塞孔树脂, 完全符合高频信号传输的HDI板对材料低介电常数、低损耗因子的性能要求。

2.4 BTH-8000系列塞孔树脂的体积电阻率与介电强度

体积电阻率主要取决于材料的组成与结构, 塞孔树脂的体积电阻率越大说明材料的绝缘性越好。介电强度是指在强电场作用下, 电介质丧失电绝缘能力的特性。体积电阻率与介电强度越高说明材料在高频、高压电气环境下的稳定性就越好, 即电气性能优异。

BTH-8000系列塞孔树脂经过检测, 固化后其体积电阻率高达 $1.03 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$, 介电强度达到 18.56 kV/mm , 充分表明了BTH-8000系列塞孔树脂固化体系具有良好的绝缘性能。当前市场上同类产品的体积电阻率大概在 $4.9 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 左右, BTH-8000系列塞孔树脂良好的绝缘性能完全超越进口产品的性能, 完全符合HDI板对塞孔树脂绝缘性要求。

2.5 BTH-8000系列塞孔树脂的吸水率

吸水率是表示材料在正常大气压下吸水程度的物理量, 通常用百分率来表示。在PCB行业中都认同吸潮是导致爆板的原因之一, 尤其白蓉生教授做过系统的研究^[6]。同时潮湿环境下吸水率高, 会使材料极性增加而提高材料的表面导电性, 由此使得材料的介电常数与损耗因子都会增加, 从而影响高频信号的正常传输^[7]。而各种PCB产品在加工或者使用过程中经常处于高温、高湿度环境中, 因此要求应用于HDI板中的塞孔树脂也要具有低的吸水率, 以保证产品性能稳定以及信号传输完整。

当前PCB行业同类塞孔树脂的吸水率处于 $0.15\% \sim 0.70\%$ 之间, 而BTH-8000系列塞孔树脂由于使用复合型环氧树脂同时添加了纳米组分以及合适的无机填料, 吸水率处于 $0.13\% \sim 0.14\%$ 之间。因此BTH-8000系列塞孔树脂的吸水率在同类塞孔树脂中属于优异产品, 完全能够保证HDI对材料低吸水率性能要求。

3 应用试验结果

3.1 真空塞孔测试

采用真空印刷，选取厚为2.0 mm，孔径为0.30 mm的HDI板，使用BTH-8000系列塞孔树脂进行真空塞孔测试塞孔效果，切片如图2所示，树脂与孔壁铜结合良好，没有气泡残留与开裂现象，而且截面没有收缩或凹陷与沉积铜层结合良好。

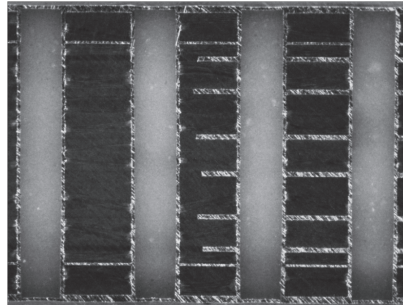


图2 真空塞孔切片图（孔径：0.30mm，固化条件：20℃*30min+150℃*60min）

3.2 网印塞孔测试

使用BTH-8000系列塞孔树脂进行网印塞孔固化，使用铅笔对固化后的塞孔树脂进行硬度测试，其固化后的硬度为6~8H之间。使用砂带磨板机加不织布，研磨压力2A，研磨两次就能完成，如图3B示。表面平整没有凹陷。说明BTH-8000系列塞孔树脂易于研磨，而且加入微量的纳米添加剂进行增韧，使得塞孔树脂具有良好的韧性，研磨后表面平整不会带出树脂，孔口不易产生凹陷或者裂痕等问题。针对塞孔口使用压片机进行冲压切片，结果发现孔断面与附近板基材保持了良好的一致性（图3C），塞孔树脂固化物断面没有崩裂，表明塞孔树脂固化物具有极好的韧性且与铜层的结合也是非常牢固的。

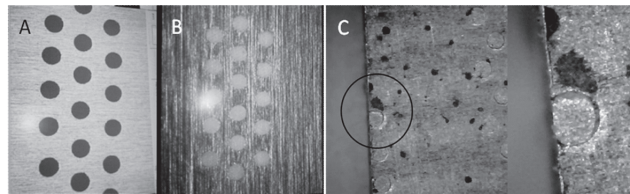


图3 BTH-8000系列塞孔树脂塞孔固化后打磨图（A）裸孔、（B）塞孔固化打磨后、（C）板电后冲压。（固化条件：20℃*30min+150℃*60min）

3.3 耐热性测试

3.3.1 浸锡测试

将上述使用BTH-8000系列塞孔树脂进行塞孔固化后的HDI板浸锡热冲击测试（见图4）。切片结果显示，塞孔饱满没有凹陷，树脂与孔壁铜结合良好，没有分层与开裂现象（见图4A）。而板电后的浸锡测试结果表明（图4B），树脂与孔壁铜以及截面的镀铜层结合很好，没有分层、脱落与开裂现象。截面仅有微小的膨胀，并不影响版面的外观与性能。说明BTH-8000系列塞孔树脂具有很好的耐热性以及和铜结合力好，通过热冲击测试。

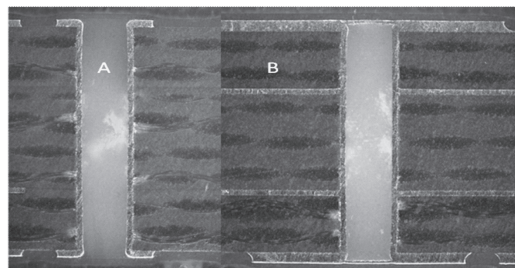


图4 BTH-8000系列塞孔树脂浸锡测试切片图（A）普通板、（B）镀铜板。（测试条件：288℃，10秒，3次）

3.3.2 回流焊测试

塞孔固化后的HDI板经过三次回流焊，切片图（图5）显示树脂与孔壁铜结合良好，没有裂纹，没有分层现象。如图5B示，塞孔截面镀铜成型后的回流焊测试，从图中可以看出树脂与孔壁铜、电镀铜结合良好没有裂纹，没有分层现象。说明BTH-8000系列塞孔树脂固化后能够承受长时间高温后续加工，具有良好的高温稳定性。

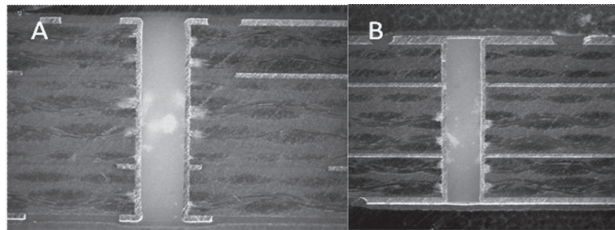


图5 BTH-8000系列塞孔树脂回流焊测试切片图（A）普通板、（B）镀铜板。

（回流焊条件：起始温度50℃，预热温度155℃，预热时间150s，吸热段温度205℃，吸热时间120s，焊接温度265℃，焊接时间90s，冷却速度50%，冷却时间100s，回流焊次数：3次。）

3.4 高低温冲击测试

如图6A所示，BTH-8000系列塞孔树脂电镀铜前，经过高低温的环境下交替反复100次，塞孔树脂与孔壁铜结合依旧良好，没有开裂与分层。如图6B所示，塞孔固化的板电镀铜后，经过高低温冲击反复100次循环后，塞孔树脂与孔壁铜、电镀铜结合良好，没有开裂、凹陷与分层现象。表明BTH-8000系列塞孔树脂固化后在急剧的温度变化下性能稳定，适用HDI在严苛环境下反复交替使用，完全符合高频信号传输HDI的性能要求。

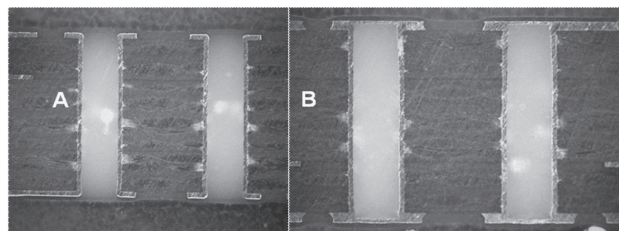


图6 BTH-8000系列塞孔树脂高低温冲击测试切片图（A）普通板、（B）镀铜板。

（测试条件：先-65℃持续30min，然后换成125℃持续30min，循环100次。）

4 讨论

（1）BTH-8000系列塞孔树脂固化后 T_g 值高达176.31℃，主要是使用了复合型的环氧树脂，其芳基能提供良好的耐高温性能，而合适的固化剂复配提高了聚合度，进一步提高了其耐热性能。从应用测试来看，不论是浸锡热冲击测试、回流焊测试还是高低温测试，BTH-8000系列塞孔树脂固化物都没有出现开裂、凹陷与分层现象，良好的展示了其耐高温性与稳定性。

（2）BTH-8000系列塞孔树脂的应用测试微切片可以看出，树脂塞孔饱满，而且树脂与孔壁铜以及电镀铜结合力相当好，主要是因为其不含溶剂，可以100%固化的组分，避免产生凹陷或者分层现象，同时复合了高环氧值的环氧树脂，可以进一步提高塞孔树脂的粘结性。

（3）BTH-8000系列塞孔树脂彻底杜绝了使用中的渗墨现象，固化后板面处理容易且相当平整，没有带出树脂，主要是因为加入微量的纳米添加剂，使得塞孔树脂具有较高的触变性，与同类塞孔树脂相比固化产物耐热性与韧性更好。

(4) BTH-8000系列塞孔树脂具有极低的介电常数与损耗因子, 高的电阻率与介电强度, 低的吸水率无不表明其具有良好的电气性能, 完全符合高频信号传输的HDI对材料的性能苛刻要求。

5 结论

BTH-8000系列塞孔树脂由于科学搭配复合型环氧树脂以及合理使用纳米添加剂, 因此具有高Tg、低介电常数、低损耗因子、高体积电阻率、高介电强度与低吸水率的优异性能, 完全符合高频信号传输的PCB对塞孔材料性能要求, 完全达到了国际先进水平, 可以替代进口产品的使用, 降低企业的生产成本。

参考文献

- [1] Michael Carano. Via Hole Filling Technology for High Density, High Aspect Ration Printed Wiring Boards Using a High Tg ,low CTE Plugging Paste. Electrochemicals, Inc Maple Plain,Minnesota.
- [2] 赵志平等. 树脂塞孔工艺技术的研发[J]. 印制电路信息,2010,02.
- [3] 李强. 树脂塞孔工艺的研发[J]. 印制电路信息,2002,09.
- [4] 陈永生等. HDI产品埋孔处理工艺技术研究[J]. 印制电路信息,2011,04.
- [5] 成钢. 电路板设计中的膨胀系数匹配问题[J]. 电子设计工程,2011,02.
- [6] 白蓉生. 无卤素板材与抗CAF[M]. 2008,7.15.
- [7] 王隽等. 吸水性对介电常数和介质损耗角影响因素分析[J]. 印制电路信息,2010,11

第一作者简介

陈洪, 任职于研发部, 从事新产品的研究开发工作。