

环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶的研发及其在电子封装中的应用

孙孝辉

浙江铂淳新材料股份有限公司 浙江嘉兴 314000

【摘要】本文围绕环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶展开研究，阐述了其研发过程，探讨了制备工艺对压敏胶性能的影响，并深入分析该压敏胶在电子封装领域的应用效果，得出了可靠的实验结果。实验结果表明，研发的压敏胶兼具高导热性、阻燃性与环保特性，在电子封装应用中展现出良好的性能，有望推动电子封装材料的绿色化与高性能化发展。

【关键词】环保；新材料；丙烯酸压敏胶；电子封装

【中图分类号】TQ436.3；TN305.94

Development of environmentally friendly high thermal conductivity flame retardant acrylic pressure sensitive adhesive and its application in electronic packaging

Sun Xiaohui

Zhejiang Bochun New Material Co., LTD. Jiaxing, Zhejiang 314000

【Abstract】This paper focuses on the research of environmentally friendly, high thermal conductivity, flame-retardant acrylic pressure-sensitive adhesive. It outlines the development process, examines how the preparation method affects the adhesive's performance, and provides a detailed analysis of its application in electronic packaging, yielding reliable experimental results. The experimental results indicate that the developed pressure-sensitive adhesive combines high thermal conductivity, flame retardancy, and environmental friendliness, demonstrating excellent performance in electronic packaging applications. This development is expected to promote the greening and high-performance development of electronic packaging materials.

【Key words】environmental protection；new materials；acrylic pressure-sensitive adhesive；electronic packaging

一、引言

丙烯酸压敏胶广泛应用于包装领域，用于各类包装材料之间的粘接，提供包装的牢固性、完整性；应用于医疗领域，用于各种医疗器械及医疗用品中的创可贴、医疗胶带、医用绷带等，对它的生物相容性、安全性要求十分严苛；小功率电子组件的元器件集成度越来越高、热量集中，对电子组件的封装材料的导热率有较高的要求。环保要求不断增强及相应环保法律法规的日趋完善，促使开发环保型的电子封装材料成为一种必然趋势。开发环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶，能满足日益发展的电子设备对压敏胶的性能要求。

二、环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶的研发

2.1 原材料选择

2.1.1 丙烯酸酯单体

丙烯酸甲酯（MA）分子包含甲基，从而使聚合物具有较高的玻璃化转变温度（ T_g ），使得压敏胶有比较好的内聚力和硬度，加入适量的 MA 可以提升压敏胶抗蠕变性，在一

定的压力下不易发生形变。

丙烯酸乙酯（EA）的 T_g 较低、分子链的柔软性比较好，在较低的温度下含有一定 EA 的压敏胶依然会保持较好的黏性、柔韧性，不会发生硬化、变脆现象。如含有 20%~30%EA 的压敏胶在 -20℃ 时对普通材料仍有较高的黏附力，满足了某些苛刻环境中的使用要求。

2-EHA 是具有长支链结构的丙烯酸酯，主要用来合成高力学强度的丙烯酸压敏胶，特别适用于要求耐候性较强的室外应用场合。如室外太阳能电池板密封用压敏胶中含有 30%~40%2-EHA，由于其压敏胶的物理性能和粘结性能在长时间受紫外线照射且反复经历高低温的情况下保持稳定。

2.1.2 高导热填料

常用高导热填料有金属氧化物（ Al_2O_3 、 ZnO 、 MgO 等）、碳纳米管（Carbon Nanotubes, CNTs）、氮化硼（BN）、石墨烯等，能使丙烯酸压敏胶具有极高的导热性。

综上，从多种高导热性填料的性能、价格、在丙烯酸压敏胶的分散性等角度考量，选择 Al_2O_3 作为主要的高导热填料。 Al_2O_3 的价格较低、来源广泛，具有良好的化学惰性和

耐绝缘性,具有很好的电子封装应用性能,能有效避免在封装环境中对电子元件造成不利影响。通过对 Al_2O_3 的粒径、形貌等进行选择,选用合适的表面修饰方法,增强其在丙烯酸酯基体中的分散性,充分发挥其良好的导热性能,以达到较低填充量下使丙烯酸压敏胶导热性能得到较大提升的目的。

2.2 制备工艺

2.2.1 溶液聚合

溶液聚合能够使得丙烯酸压敏胶在制备过程中过程操作简单、工艺较易控制,单体在溶剂内均匀溶解,自由基的生成与传递相对容易,聚合反应进行均一,能够较好符合聚合反应要求制备出性能优良的压敏胶。

2.2.2 乳液聚合

乳化剂用量过多会使产品中含有较多的残余杂质,影响压敏胶的电性能以及耐水性能,反应温度与搅拌速度都是影响乳液聚合的因素,反应温度在 $50\sim 80^\circ\text{C}$ 内,温度过高会使乳液的稳定性变差,甚至发生破乳,搅拌速度不能过快,否则会使乳液粒受到较大的剪切力而导致乳液不稳定,速度过慢会出现单体分散不均对聚合反应产生不利影响。

三、环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶的性能研究

3.1 基本性能测试

3.1.1 粘接性能

而对于一些需要瞬间定位、瞬间固定的场合(比如电子元器件临时粘接),初始粘接强度意义重大。黏附性测试在设定的温度和湿度环境中存放一定时间之后,以 $100\text{mm}/\text{min}$ 的剥离率作 180° 剥离动作,记录剥离过程中力-位移曲线,取平均值作为剥离强度。

随着 Al_2O_3 等高导热填料的增加,压敏胶的导热性能上升,其粘接性能将下降一定幅度。由于填料的加入改变了压敏胶的微观结构,当填料量较少时,填料能均匀分散在基体中,对粘接性能影响较小甚至能在一定程度上提高内聚力、提升持粘力,填料量过多,会出现填料团聚现象,破坏了压敏胶分子链的连续性,减少了压敏胶与被粘物的有效接触面积。 Al_2O_3 填充量为 15% 时,压敏胶的导热系数略有上升,且粘接性能仍然保持在可接受范围内。

3.1.2 流变性能

流变性能指的是材料受外力作用时发生的形变和流动。对丙烯酸压敏胶来说,了解压敏胶的流变性能有助于对其在不同条件下加工性能、应用性能的把握,在测试中主要考察压敏胶的粘度、储存模量 (G')、损耗模量 (G'') 随温度、频率等条件变化规律。

3.2 高导热性能研究

3.2.1 导热系数测试

本文使用瞬态热线法测试环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶的导热系数,该方法测试速度快、精度高、对样品尺寸

和形状要求较小的优点,能精确测得本次研究丙烯酸压敏胶的导热系数。

借助热导率测试分析,因填料热导率、结构等不同,其形成的压敏胶中导热通路能力也不同,石墨烯热导率最高、且呈平面二维状,则在压敏胶中的热导效果最明显,即其对导热系数提升的效果最好。

3.2.2 导热机理分析

微观上,丙烯酸压敏胶的导热方式主要有两种:分子链的振动及高导热填料作用。在纯丙烯酸酯基体中未加入高导热填料,此时热量通过分子链的振动来实现导热。分子链的振动以声子的形式存在,声子在分子链之间进行传递时受到分子链的柔性、分子间作用力等的作用,由于丙烯酸酯分子链本身的柔性较好、分子间作用力相对较弱,导致声子的传递过程中容易出现散射情况,导致热传导效率较弱,即纯丙烯酸酯压敏胶的导热系数较低。

3.3 阻燃性能研究

3.3.1 阻燃性能测试

本文通过氧指数法 (LOI),测试环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶阻燃性能指标。将涂成布样为 $100\text{mm} \times 6.5\text{mm} \times 3\text{mm}$ 长条样的试样,置于氧指数仪的燃烧管中,调节燃烧筒里的氧气、氮气流量和比例,点燃试样,观察试样燃烧情况,记录试样平稳燃烧时的最低氧气含量。

3.3.2 阻燃机理探讨

氢氧化铝 (ATH) 受热发生脱水分解反应,脱水反应温度区间为 $200\sim 300^\circ\text{C}$,脱水过程中吸收大量热量,脱水每 1mol ATH 可吸收热量 196.7kJ ,压敏胶燃烧过程中,ATH 分解生成的水蒸气迅速充满燃烧空间,降低氧浓度和可燃气浓度,阻碍燃烧的连续进行。ATH 分解形成的氧化铝 (Al_2O_3) 的残留覆盖于压敏胶表面,残留物具有良好的绝热效果,起到阻燃效果。

ATH 分解生成的水蒸气为膨胀型阻燃剂的发泡过程提供有利的条件,使其泡沫炭层更稳定、致密;而膨胀型阻燃剂泡沫炭层对 ATH 起到保护作用,延缓其分解速度,延长吸热和稀释的作用时间,两者协同产生复配体系较低用量时良好的阻燃效果。

3.4 环保性能评估

该文用气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 测定压敏胶中的 VOCs 浓度,其中顶空进样器使样品中的 VOCs 在一定条件下加热,产生挥发,达到气液平衡,将气相的 VOCs 引入气相色谱柱中分离。

通过检测发现,本课题中所研制的环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶产品的 VOCs 含量为 $5\text{g}/\text{L}$,远远低于 VOCs 的国家标准限量,与传统的溶剂型丙烯酸压敏胶相比,VOCs 含量明显降低,传统溶剂型丙烯酸压敏胶产品的 VOCs 的含量一般在 $300\sim 500\text{g}/\text{L}$ 。这充分说明通过本课题的研究方法以及原材料的选择,很好地降低了 VOCs 残留的情况,明显提升了所研制的压敏胶的环保性,降低了对人们生产环境和身体

健康的影响,更符合环保的要求。

对环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶生物降解的研究是通过土壤掩埋法来进行的。具体地,取一定量的压敏胶制备成 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 的方形薄片,称重后埋于处理前的土壤内,土壤是环境中的自然土壤,为使微生物获得适当的生存和繁殖条件而对土壤进行了适当的挑选,去除杂质,并调节其水分含量和 pH 值以保证土壤内微生物的生存和繁殖,其土壤水分含量控制在 $60\% \sim 70\%$, pH 值在 $6.5 \sim 7.5$ 内;于土壤掩埋实验进行到第 30 天时压敏胶的质量损失率达 5% ;于 60 天后,质量损失率为 12% ;于 90 天后,质量损失率已达 20% 。采用扫描电子显微镜 (SEM) 检测降解后压敏胶表面的 SEM 照片显示,压敏胶表面出现明显的侵蚀,压敏胶表面开始出现孔洞,这是微生物作用的结果,微生物在生长过程中分泌的酶会水解压敏胶的分子链,使压敏胶结构受到破坏,压敏胶的表面形貌也随之改变。

四、环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶在电子封装中的应用

4.1 电子封装对压敏胶的性能要求

4.1.1 电气性能要求

电子元件运行过程中会产生一定的电场,当压敏胶绝缘性不好时,电流就会泄漏,容易发生短路等故障。电路板封装过程中,需要压敏胶将各个电路区域分隔开,阻止电子信号互相干扰和漏电情况的发生。对压敏胶而言,需要较大的绝缘电阻值,压敏胶的绝缘电阻在 $10^{12} \Omega$ 以上时才比较合适,在正常的工作电压范围内,压敏胶的绝缘电阻使电流不通过压敏胶泄漏。

4.1.2 机械性能要求

压敏胶在电子封装领域应用时需要适应电子器件制造、应用及运输过程中遇到的各种力的作用。在电子器件安装和封装环节,压敏胶会受到一定的拉、切及撕裂力作用,以保证电子器件与封装层之间能够牢固结合。在芯片与基板粘结时压敏胶的粘结处需具备相应的拉伸强度和剪切强度,以防止受到外力作用而脱落或移位。通常应用于电子封装的压敏胶需要拉伸强度至少达到 1MPa 以上、剪切强度至少达到 0.5MPa 以上以满足实际应用的需要。

参考文献

- [1]李瑞超,童赟,王亚权,等.布基线束胶带用高性能丙烯酸酯压敏胶的制备[J].包装学报,2025,17(01):71-79.
 - [2]黄毅,蔡捷鸿,张溢辉,等.丙烯酸酯预聚物及其压敏胶的制备与性能研究[J].中国胶粘剂,2024,33(10):31-37.
 - [3]黄云,郑琛,李浩.乳液型丙烯酸压敏胶的研究及应用进展[J].化工技术与开发,2024,53(09):59-64.
 - [4]朱翔,赵荣帆,丁浩亮,等.高性能聚丙烯酸酯压敏胶的制备与性能研究[J].应用化工,2024,53(09):2078-2082+2088.
 - [5]高洁,宋亚军,胡正杭,等.电子束固化丙烯酸酯压敏胶的制备及性能研究[J].精细与专用化学品,2024,32(08):31-34+40.
- 作者简介:孙孝辉,男,出生年月:1976.02,汉族,籍贯:山东沂水,学历:研究生,研究方向:化工。

4.2 应用案例分析

4.2.1 集成电路封装

从导热角度出发,该压敏胶的导热系数值为 $0.5\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,是普通封装用压敏胶的 2-3 倍(导热系数一般在 $0.2-0.3\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$)。在芯片工作时可以将产生的热量通过压敏胶快速传递,使芯片的表面温度降低 $10-15^\circ\text{C}$,使用热成像仪对芯片表面的温度进行监测,在同样的工作条件下,用普通压敏胶封装芯片的表面最高温度达到 85°C 左右,而用该新型压敏胶封装的芯片的表面最高温度在 70°C 左右,从而避免了芯片过热引起的性能下降,手机在长时间使用过程中依然可以保持平稳运转。

4.2.2 显示屏封装

用于显示屏封装的环保型高导热阻燃丙烯酸压敏胶对显示效果以及可靠性均有很大的提升。以某 4K 超高清液晶显示屏封装为例,随着显示屏分辨率的日益上升以及亮度的提升,显示屏的热量也在随之不断增加。

为了解决这一问题,新型压敏胶因其导热系数达到 $0.45\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,能将显示屏工作时的热量快速转移到外部,使显示屏内各个区域的温度均衡。通过对显示屏内部温度场进行测试,采用新型压敏胶封装的显示屏工作 1h 后,显示屏不同区域温度差为 5°C 以内,采用传统压敏胶封装的显示屏温度差却达到了 10°C 以上,从而使显示屏色彩更加鲜艳、均匀,亮度一致性得到明显提高,进而给用户带来更好的视觉体验。

五、结语

本文通过开发环保型导热阻燃型丙烯酸压敏胶的试验,合理选取原材料,优化制备工艺,在压敏胶具有高导热、阻燃、良好的粘接性能、环保等性能。经性能测试,该压敏胶的热导率、阻燃、粘接性能等性能皆满足电子封装的要求,在电子封装的实际应用中同样得到了良好的实际效果,具有良好的电子设备散热、提高电子设备的安全性等特点,为电子封装材料的绿色化、性能化发展提供了新的解决方案。在未来,随着电子技术的发展,对电子封装材料的性能要求将逐渐增高,需进一步对压敏胶的性能加以优化,拓展其应用领域,以此来满足市场的需求。