

柔性覆铜板 (FCCL) 产业展望

付高辉

南京龙电华鑫新能源材料产业技术研究院有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i8.8826

[摘要] 柔性覆铜板 (Flexible Copper Clad Laminate, FCCL) 是电子元器件制造中的一种关键材料, 其具有优异的柔韧性、耐热性和电性能, 广泛应用于柔性电路板的制造。随着消费电子、新能源汽车、低空经济、医疗设备等领域的高速发展, FCCL 的需求也日益增长。本文从 FCCL 的原材料、技术路线、应用领域等方面出发, 对其未来发展趋势进行展望, 突出其在柔性电路板中的重要性。

[关键词] 柔性覆铜板; 消费电子; 技术路线; 应用领域; 未来发展

Outlook for the Flexible Copper Clad Panel (FCCL) Industry

Fu Gaohui

Nanjing Longdian Huaxin New Energy Materials Industry Technology Research Institute Co., Ltd

[Abstract] Flexible Copper Clad Laminated (FCCL) is a key material in electronic component manufacturing, which has excellent flexibility, heat resistance, and electrical properties, and is widely used in the manufacturing of flexible circuit boards. With the rapid development of consumer electronics, new energy vehicles, low altitude economy, medical equipment and other fields, the demand for FCCL is also increasing day by day. This article looks forward to the future development trend of FCCL from the aspects of raw materials, technical routes, and application fields, highlighting its importance in flexible circuit boards.

[Keywords] flexible copper-clad laminate; Consumer electronics; Technical roadmap; Application areas; Future Development

引言

柔性覆铜板 (Flexible Copper Clad Laminate, FCCL) 具有优异的柔韧性、耐热性和电性能, 在柔性电路板领域得到广泛应用^[1]。

柔性覆铜板主要由柔性基材、铜箔以及胶粘剂组成^[2]。根据基材的不同, FCCL 可以分为聚酰亚胺型以及聚酯型等^[2]; 根据铜箔的不同, 可以分为电解铜箔型及压延铜箔型; 根据结构不同, 可以分为单面、双面以及多层结构; 根据胶粘剂的不同, 可以分为 3L-FCCL 和 2L-FCCL 型; 由于超薄化 FCCL 发展的一个重要趋势, 其驱动力主要来自电子、新能源、医疗、低空经济等领域对于器件减重、减薄以及功能化的应用需求。目前主流的 FCCL 产品结构为 2L-FCCL 型, 但原材料 (铜箔、热塑性聚酰亚胺^[3]、聚酰胺酸浆料) 基本上掌握在日本、韩国以及台湾地区等企业手中, 技术壁垒高;

本文就 FCCL 近年来的最新进展情况进行综述, 分析当前的研究现状和未来的发展趋势, 希望借此推动我国 FCCL 行业发展。

1 FCCL 原材料发展现状

1.1 铜箔

目前国内 FCCL 用铜箔企业基本上实现了标准铜箔国产化, 代表企业有龙电华鑫、铜冠铜箔、德福科技等, 基本厚度为 12~70 μm , 一面粗糙一面光亮, 光亮一面用于印制电路, 粗糙面与覆铜板相结合; 高端铜箔, 例如 RTF、HVL P、HVL P2 等系列铜箔, 目前国内品质不稳定, 市场主要被日本三井、日矿、台湾长捷士等企业占有, 高端 FCCL 用铜箔以进口为主;

1.2 热塑性聚酰亚胺 (TPI)

近年来, FCCL 的主要市场为 2L-FCCL 型, 采用含 TPI 层的聚酰亚胺薄膜与铜箔热压制备 2L-FCCL, TPI 目前国内处于研发阶段, 全球 80% 以上市场被日本 Kaneka 占有, 价格昂贵, 供货周期长, 国内企业完全依赖进口;

1.3 聚酰胺酸浆料 (PAA)

PAA 浆料涂布法制备 2L-FCCL 是近年来的技术突破, 目前国内尚无产业化 PAA 浆料产品, 主要由日本、台湾等少数企业提供, 且价格昂贵, 产品信息严格保密, 并不对大陆

销售;

2 FCCL制造技术路线

2.1 3L-FCCL 技术

常规 3L-FCCL 采用环氧树脂作为胶粘剂, 将环氧树脂涂布在聚酰亚胺单面或双面, 经高温 ($160^{\circ}\text{C}/2\sim 3\text{min}$) 烘干后, 制备单面或双面带有环氧胶层的聚酰亚胺基材, 与铜箔经高温 (180°C) 热压合, 制备 3L-FCCL 板;

近年来, 3L-FCCL 由于较厚, 耐温差, 尺寸稳定性差, 逐步被高端市场淘汰, 因此开发 2L-FCCL 成为主流产品;

2.2 2L-FCCL 技术

2L-FCCL 主要采用 Kaneka TPI 与铜箔热压而成, Kaneka TPI 为三层结构聚酰亚胺, 其芯层为热固性聚酰亚胺薄膜, 两边为热塑性聚酰亚胺, 高温下 ($>300^{\circ}\text{C}$), 热塑性聚酰亚胺发生熔融, 与铜箔粗糙面进行结合, 由于热塑性聚酰亚胺层非常薄 (一般 $<5\mu\text{m}$), 因此这种工艺制造的产品被称为 2L-FCCL。众所周知, 聚酰亚胺具备非常优异的耐热性, 尺寸稳定性, 力学性能, 因此 2L-FCCL 具备优异的综合性能, 成为高端市场主流产品, 尤其是消费电子、新能源、医疗器械、低空经济市场。

2.3 涂布法技术

涂布法制备 FCCL, 主要将聚酰胺酸 (PAA) 浆料涂布在铜箔表面, 经过热 ($100\sim 200^{\circ}\text{C}$) 处理后形成聚酰胺酸层, 而在氮气条件下, 高温 ($>350^{\circ}\text{C}$) 亚胺化制备 FCCL。PAA 浆料目前国内尚无相关技术突破, 技术为国外垄断, 涂布法制备的 FCCL 具备更低的成本优势, 逐步进入高端市场, 与热压合 2L-FCCL 形成竞争, 但由于其制备双面结构 FCCL 工艺复杂, 目前主要以单面板产品形态存在;

3 FCCL应用领域

3.1 消费电子领域

在消费电子领域, 如智能手机、平板电脑、笔记本电脑和可穿戴设备等, 这些设备追求轻薄设计、高柔性、高性能表现, FCCL 被广泛用于连接屏幕、摄像头模块、天线模块、主板与其他组件之间的电路、传感器连接、电池模块连接等环节, FCCL 作为柔性电路板材料, 可以轻松弯曲和折叠, 适应复杂的内部空间设计, 使得设备设计更加灵活, 此外, FCCL 的良好导电性和散热性能有助于这些设备的高效运行, 同时能够支持高速数据传输, 适应现代电子产品对高速和高带宽的需求。

3.2 汽车电子领域

汽车电子设备包括车载导航系统、音响系统、驾驶辅助系统、电子仪表盘等, 这些系统通常需要复杂的布线和可靠的电气连接。FCCL 的柔性使其可以适应汽车内部的曲面和有限空间, 通过减少线束和连接器的数量, 减轻整车重量, 提高系统可靠性。同时, FCCL 能够承受汽车环境中的振动和高

低温变化, 确保长期稳定工作。此外, 在雷达、摄像头和控制模块中, FCCL 能够帮助实现数据的高速传输和信号处理。

3.3 通信设备领域

通信设备中, 尤其是 5G 基站、天线和高频器件 (滤波器、功率放大器等), 要求电路板能够处理大量的数据传输和高频信号。这对 FCCL 的介电常数和损耗有更高要求, 同时它的柔性也有助于实现更复杂的天线设计和设备小型化, 从而提高通信设备的效率和性能, 良好的热管理也有助于散热, 保证设备的长期稳定运行。

3.4 医疗设备领域

在医疗设备中, 医疗设备要求长时间、稳定的工作, FCCL 通常被用作传感器和诊断设备的电路板, 用于连接传感器和数据处理单元, 这些设备要求高精度度和可靠性。FCCL 的柔性和生物相容性使其适用于可穿戴医疗设备, 如健康监测手环和体温传感器等, 它们可以安全无害地贴合在人体皮肤上, 提供准确的生物信号检测。

3.5 工业控制领域

工业控制系统中的自动化设备、机器人以及工业监控系统等需要复杂的电路布线和高可靠性的连接。FCCL 的耐弯折特性和优异的电气性能使其适用于这些高要求应用场景。它们能够在频繁的运动和弯折中保持稳定的电气性能, 提高工业设备的可靠性和寿命。工业环境中的电磁干扰到处可见, FCCL 的抗干扰能力同样可以保证数据的准确采集和传输。

3.6 航空航天和国防领域

航空航天和国防领域对材料的要求非常严格, 尤其是卫星、航天器以及军事电子设备等, 必须具有耐高温、耐辐射和高可靠性。FCCL 在这些领域中用于制造高可靠性的柔性电路板, 适用于复杂的电气连接和设备的轻量化设计。其耐用性和可靠性在极端环境下 (如高温、高压、振动) 保持稳定运行。其轻量化设计, 有助于减少航天器、军用设备的重量, 起到至关重要的作用。

4 FCCL市场分析

4.1 市场需求

随消费电子产品 (手机、平板、电脑等)、储能和新能源汽车、医疗设备等领域的快速发展, 柔性线路板 (FPC) 相关领域的市场需求急剧扩展。挠性覆铜板 (FCCL) 是 FPC 核心原料, 2023 年, FCCL 全球市场规模约 2.5 亿平方米, 市场容量约 28 亿美元, 其中常规 FCCL (3L-FCCL、coverlay、bonding sheet 等) 市场规模约 1.76 亿平方米, 市场容量约 12 亿美元, 高端 FCCL (2L-FCCL) 约 7400 万平方米, 市场容量约 16 亿美元, 受消费电子、新能源、低空经济、医疗设备增长驱动, 未来 FCCL 市场潜力将更大, 年增长率约 7.2%。

区域市场方面, 北美市场主要受到汽车电子和医疗设备需求的驱动, 尤其在自动驾驶技术的发展下, 车载电子产品

对柔性覆铜板的需求增长显著。欧洲市场则受益于物联网技术的普及,工业自动化和智能家居产品对柔性覆铜板的需求日益增加。亚太地区是全球柔性覆铜板最大的市场,尤其是中国、日本和韩国等电子制造业发达的国家,该地区的消费电子、新能源产业、5G 通讯行业生产规模巨大,是市场增长的主要动力之一。

4.2 主要厂商

全球主要的 FCCL 生产厂商包括美国杜邦、日本有泽、村田、新日铁、住友、松下、韩国的斗山电子、NEXFLEX、东丽新材料、台湾的新扬、台虹等。这些企业通过技术创新和产能扩展,巩固其在市场中的领先地位,占据全球 81% 以上的市场份额。

5 FCCL 未来发展趋势

5.1 轻薄化和高性能化

随着电子设备的不断小型化和功能多样化,对 FCCL 的要求越来越高。消费电子,尤其是 3C、可穿戴等设备厂商正致力于开发更加轻薄、高强度的材料,以满足市场对高性能、轻量化产品的需求。FCCL 的轻薄化,高性能化将成为一个热门研究方向。

5.2 高频高速传输

随着移动通信向 5G 时代演进,移动通信已经由人与人之间的连接转向万物互联。5G 通讯是依靠半导体材料和器件,实现无线电磁波远距离传输、收发、处理的通信技术,具有“高速率、低时延、大容量”等特征,正成为科技产业最新风口。在超大规模集成电路、5G 低介电低损耗等背景下,尤其是在多层电子元器件的制作过程中,电路基材材料需经过蒸涂、化学、物理修饰等复杂工艺,这对基材降低介电常数、介电损耗的同时,需满足以下要求:①具备优异的力学机械性能,能够适应较大强度的加工工艺过程,避免发生断裂;②具备优异的热膨胀系数与热收缩率,避免在加工过程中发生翘曲;③具备优异的电器性能,避免在应用过程中发生短路、击穿等现象,破坏电子元器件。因此,能够支持高频高速信号传输的 FCCL 材料逐渐成为市场的主流。

5.3 环保与可持续性

环保法规的日益严格和可持续发展意识的增强,促使企业在生产 FCCL 时更加注重环保材料的使用和生产工艺的改进。2023 年,欧洲化学管理署(ECHA)公开了针对全氟和多氟烷基物质(PFAS)的限制草案。该限制提案的 PFAS 定义为至少含有一个全氟化甲基(CF₃-)或亚甲基(-CF₂-)碳原子(不含任何 H/Cl/Br/I)的任何含氟化学物质(少数结构除外)。限制的主要原因是 PFASs 在环境中具有非常持久性,假如不加以限制,会对人体健康和环境产生负面影响。预计这一定义将涵盖超过 10,000 种氟化物,将对氟化工行业及下游应用产业产生深远的影响,因此无卤素、低 VOC 排放的

FCCL 产品逐渐受到市场的青睐。

5.4 多功能化

除了作为电路板材料,FCCL 在多功能集成方面也取得了进展。例如,一些先进的 FCCL 材料能够集成电磁屏蔽、热管理、透明等功能,为电子设备提供更多的附加价值。如何实现多功能化将成为未来的产品发展趋势。

5.5 自动化生产技术

随着市场需求的增长,FCCL 生产中的自动化程度需不断提高。如何从工艺,设备,原材料端出发,不断提高生产效率,建设智能化生产车间,大幅度降低制造成本,使得市场上的产品种类更加多样化,价格更具竞争力。

6 结束语

柔性覆铜板作为现代电子产业的一种关键材料,其技术发展迅速,具有广阔的市场前景和应用空间。随着新材料和新工艺的不断引入,柔性覆铜板将在更多高端电子产品中得到应用,为行业带来更多创新和突破。

柔性覆铜板虽具有许多优势,但仍面临一些技术挑战,例如,如何在提高柔性和轻薄性的同时,保持良好的导电性能和机械强度,是一个需要解决的问题。此外,在复杂环境下的长期稳定性也是一大考验。随着环保法规的日益严格,柔性覆铜板的生产工艺和材料选择也面临更多的限制。例如,如何减少生产过程中的有害物质排放,以及如何处理废弃材料,都是企业需要关注的问题。尽管面临挑战,但柔性覆铜板市场也充满了机遇。例如,消费电子、5G 通讯、医疗设备的快速发展为柔性覆铜板带来了巨大的市场需求。此外,新兴市场,如低空经济的崛起也为柔性覆铜板的应用开辟了新的空间。总体来看,柔性覆铜板技术的发展趋势集中在材料创新、制造工艺优化和应用领域拓展方面。

对企业而言,应抓住这一机遇,紧跟市场趋势,通过持续技术创新,开发绿色制造技术,加快低成本、高性能材料的研发以满足客户对高性能柔性覆铜板的需求,这是保持竞争力的关键。此外,企业还应积极应对环保法规的变化,采用更加环保的生产工艺和材料,实现可持续发展。FCCL 的发展不仅有助于推动柔性电子技术的进步,也将为相关产业带来巨大的经济效益和社会价值。

[参考文献]

- [1]秦圆,胡宗敏,韩云丽等.柔性覆铜板镀碳膜效果评估方法的开发[J].绝缘材料,2022,55(11):36-41.
- [2]姚海波,金日哲,康传清等.聚(吡啶-酰亚胺)无胶覆铜板的制备和性能[J].高分子材料科学与工程,2015,31(10):115-119.
- [3]刘国淑,刘瑞翔,瞿伦君等.含羧基聚酰亚胺共聚物的挠性覆铜板的制备与性能[J].高分子材料科学与工程,2022,38(3):32-39.