

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.03.025

激光直接成型功能塑料的研究进展

曹艳霞¹, 赖华林¹, 叶远锋²

(1. 深圳华力兴新材料股份有限公司, 广东深圳 518116; 2. 深圳市高分子行业协会, 广东深圳 518100)

摘要: 激光直接成型 (LDS) 功能塑料在手机天线、三维立体电路和智能响应领域广泛应用, 是实现智能终端部件轻、薄、小型化的基础材料之一。系统阐述了 LDS 功能塑料的特点及在 5G 通讯时代的机遇, 总结了 LDS 功能塑料的研究进展, 包括常用塑料基材的优缺点、商品化产品的牌号与典型性能、配方设计难点、所用镭雕助剂的特点及与激光打标助剂的异同, 介绍了 LDS 功能塑料的应用案例, 并指出 5G 通讯时代 LDS 功能塑料的研究开发方向。

关键词: 激光直接成型; 功能塑料; 激光打标; 功能助剂

中图分类号: TQ324.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)03-0139-06

Review of Laser-Direct-Structuring Functional Plastics

Cao Yanxia¹, Lai Hualin¹, Ye Yuanfeng²

(1. Shenzhen Halcyon New Materials Co. Ltd., Shenzhen 518116, China; 2. Shenzhen Polymer Industry Association, Shenzhen 518100, China)

Abstract: Laser-direct-structuring (LDS) functional plastics was widely applied in the field of mobile antenna, three dimensional circuits, quick-witted responsiveness, as well as the fundamental raw materials of realizing intelligent terminals lighter, thinner and smaller. The characteristics of LDS functional plastics and the opportunities in the age of 5G communication were systematically described. The research progress of LDS functional plastics was summarized, including the advantages and disadvantages of common plastic substrates, commercial product brand and typical performance, difficulties in formula design, characteristics of radium carving assistant as well as the similarities and differences between them and laser marking auxiliaries. The application cases of LDS functional plastics were introduced, and the research direction of LDS functional plastics in 5G communication era was suggested.

Keywords: laser-direct-structuring; functional plastics; laser marking; functional agent

2020 年, 人类进入了 5G 通讯时代。5G 通讯在传输中呈现出低时延、高可靠、低功耗的特点, 低功耗的特征能更好地支持互联网和物联网的应用。5G 无线通讯最有希望应用的 28 GHz 频段的可用频谱带宽可达 1 GHz, 而 60 GHz 频段每个信道的可用信号带宽则到了 2 GHz。

激光直接成型 (LDS) 功能塑料是实现 LDS 技术的关键材料, 在手机天线、三维立体电路、智能感应与响应领域如可穿戴设备、智能医疗器件、无人驾驶汽车、智能家居、无人机等方面可获得广泛的应用, 是实现智能终端部件轻、薄、小型化的基础材料之一, 也是 5G 通讯时代的关键基础材料之一。

1 5G 通讯技术及其对 LDS 功能塑料的机遇

1.1 5G 通讯的优点和缺点^[1]

5G 移动通信和前四代移动通信的不同之处在于前四代

都是单一的技术, 而 5G 则是前四代技术的总和提升, 这样就使得 5G 移动通信的峰值速率更高, 更加安全, 覆盖范围更加广泛。5G 移动通信主要特征包括:

(1) 频谱利用效率将会大幅度提高。5G 电磁波包括低频段和高频段两部分。低频频段为 6 GHz 以下, 其中 3.3~3.40 GHz 频段限于室内使用, 4.8~5.0 GHz 频段的分配使用根据运营商的需求而定; 高频段为 20 GHz 以上。国际上主要使用 28 GHz 高频段进行试验, 我国主要在 24.75~27.5 GHz, 37~42.5 GHz 高频频段正在征集意见。

(2) 电磁信号可靠性更加显著。与 4G 移动通信相比, 5G 的可靠性远远超过 4G, 而且时延也大大缩短。

(3) 能源消耗降低。5G 移动通信中十分注重能源节约, 并为此进行了专门的设计。

通讯作者: 曹艳霞, 工学博士, 高级工程师, 研究方向为高分子材料设计、改性塑料、功能塑料配方设计等 E-mail: smileface1234@163.com

收稿日期: 2019-12-16

引用格式: 曹艳霞, 赖华林, 叶远锋. 激光直接成型功能塑料的研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(3):139-144, 149.

Cao Yanxia, Lai Hualin, Ye Yuanfeng. Review of laser-direct-structuring functional plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(3):139-144, 149.

5G网络实现后,车联网、物联网、智慧城市、无人机、无人驾驶汽车等概念将变为现实。此外,5G还将进一步应用到工业、医疗、安全等领域,能够极大地促进这些领域的生产效率,并创新出新的生产方式。

5G通讯技术的缺点为:

(1) 由于5G通讯采用毫米波电磁信号传输,毫米波波长短,电磁波绕射能力差,需要大批量增加基站建设,基础设施建设费用高。

(2) 毫米波的电磁损耗更大,智能终端需要增加信号接收强度。

1.2 LDS功能塑料在5G通讯时代的新机遇

目前,LDS功能塑料在智能终端、特别是在智能手机天线中广泛使用,是4G通讯信息时代天线及传感器的主流^[2-9]。几乎所有智能手机公司均有机型使用LDS技术生产的天线。LDS天线的优势在于:

(1) 其与柔性电路板天线和金属片天线相比,LDS部件可采用其实际需要的形状,从而使其功能服从于结构形态,部件具备完全的三维功能。

(2) 由于采用激光成型,改变电路图案无需改变模具就能实现,非常适合生产不同种类的天线、传感器等智能响应部件。

(3) LDS天线直接镭雕在器件塑料外壳或中框上,不仅避免器件的内部金属干扰,更可以缩小器件的体积。

此外,LDS技术生产效率高,产品生产周期短,激光系统耐用、少维护,适用于连续不间断生产,并且故障率低。

2 LDS技术及LDS功能塑料

2.1 LDS技术及其特点

LDS技术是由德国LPKF Laser & Electronics AG集团发明,利用计算机按照导电图形的轨迹控制激光的运动,将激光投射到模塑成型的三维塑料器件上,在几秒到几十秒的时间内,活化出电路图案。对于手机天线设计与生产,简单说就是在成型的塑料支架上,利用LDS技术可以直接在支架上镭雕、电镀形成金属天线。具体的LDS工艺如图1所示。

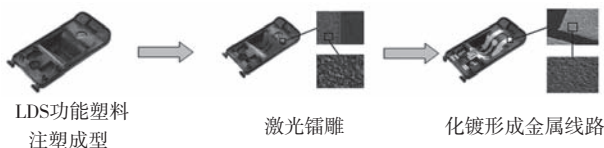


图1 LDS技术工艺流程示意图

首先将LDS功能塑料注塑成型,继而将激光光束直接投射在注塑件表面,按照预设计图案控制激光行进轨迹,被激光照射过的部分的金属化合物被活化,具有较高的自催化反应活性,可以诱导下一步金属化学镀从而形成一定厚度的

金属层,直到根据预设计图案形成金属化的三维立体图案。

LDS工艺流程短,操作简单,生产柔性大,线宽、线距精度高,是目前三维立体电路器件、模塑互连器件(MID)的主要生产工艺之一。应用LDS技术必须采用具有LDS性能的功能塑料,该塑料内必须含有绝缘性的金属化合物。

LDS技术的优点和特点包括^[2]:

(1) 设计灵活,节省空间。三维电路载体是注塑件表面,可供利用的空间增加;器件更小、更轻;功能更多,设计自由度更大,有可能实现创新性功能。

(2) 柔性制造。印制电路(PCB)工艺修改图案需要改菲林;修改外型需要改模具。而LDS工艺不要模具和掩模,只修改激光机CAD数据,优势明显。

(3) 工艺流程环保。传统的塑胶表面电镀金属,抗剥离强度差,且需酸粗化、水洗、沉积贵金属钯水等不环保流程,而LDS工艺直接环保化学镀;相比PCB工艺,LDS属于加法工艺,不要去掉铜箔,省略了蚀刻环节,无环境负担。

(4) 有利于产品体积再缩小。符合手机等智能终端小型化、薄型的发展趋势。

(5) 产品性价比高。省略了五金螺丝、接插件、电路板,在一些应用中实现了高密度的三维立体组装。

2.2 LDS功能塑料及其5G时代的要求

LDS工艺实现和成功的关键在于LDS功能塑料的制备。目前商品化的LDS功能塑料是以普通聚合物为基材,添加具有特殊晶体结构、对镭雕激光敏感的绝缘金属化合物,该金属化合物在镭雕激光波长的作用下能释放出具有自催化功能的金属离子 M^+ ,活化状态的 M^+ 可以进一步催化塑料表层的化学镀过程^[10-11]。

5G无线移动通讯采用超高电磁频率,通过毫米波技术传播电磁信号,为了提高传播速率和灵敏度,无线通讯终端里往往布设很多个天线,乃至形成多天线阵列以提高接收的电磁波信号强度和灵敏度,从而提高数据通信、传输的速率和灵敏度。而无线通讯终端的发展趋势又是轻薄化、小型化,给信号接收设备留下的空间有限,多天线阵列(MIMO)和大规模天线阵列(Massive MIMO)成为5G通讯时代天线主流。MIMO系统的多天线要求的是独立地收发信号并保证彼此间足够低的相关性,且每副天线有完全隔离开来的数据流,这就要求MIMO系统天线之间的距离保持在半个波长以上,相应的信号接收设置例如天线长度也会降低到以前的几分之一,会变成毫米级的微型天线,就对其中应用的LDS功能塑料提出了更高的性能要求:

(1) 更好的介电性能,例如更低的介电常数、更高的击穿电压和更低的介电损耗。

(2) 更好的散热性能,解决无线终端永久发热发烫问题。

- (3) 更好的耐环境性,如高低温、酸碱性等。
(4) 适应更多的新技术新工艺。
(5) 更高的刚性和流动性。

3 LDS 功能塑料的研究现状

3.1 LDS 功能塑料常用塑料基材和制备工艺

LDS 功能塑料的常用树脂基材包括聚碳酸酯 (PC), PC / 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 合金; 热塑性聚酯如聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT), PBT / 聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 合金, PBT / 聚对苯二甲酸 1,4- 环己烷二甲酯 (PCT) 合金; 尼龙 (PA) 如 PA66, PA6, 高温尼龙 (PPA), 长碳链 PA 合金等; 液晶聚合物 (LCP), 也包括以上基材的玻纤 (GF) 增强材料^[11-20]。不同基材的 LDS 功能塑料的优缺点见表 1。图 2 给出了 LDS 功能塑料的典型制备工艺流程。

表 1 LDS 功能塑料常用塑料基材优缺点

基材	优势	缺点
PC	抗冲击韧性高	耐碱性差,内应力大,熔体黏度高,不适合加工薄制品
PC/ABS	性价比较高,力学性能、耐热性和熔体加工流动性均衡	各项性能均一般,适合一般场合应用
PC+GF	刚性较大,尺寸稳定性较好	抗冲击性较低,耐碱性差,内应力大,易开裂,熔体黏度高,不适合加工薄制品
高温尼龙+GF	刚性大,尺寸稳定性好,力学性能优良,耐热性优异,熔体加工流动性好,耐化镀液性能好	抗冲击性较低,价格高
PBT / PET+GF	刚性较大,力学性能、耐热性良好,熔体加工流动性好,性价比较高	耐碱性差,易翘曲,抗冲击性一般
LCP	介电性能、力学性能、耐热性、耐化学药品性优异,刚性大,尺寸稳定性好,加工流动性好	材料各向异性明显,抗冲击性较低,价格高

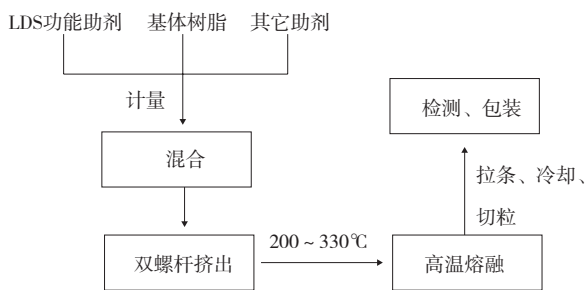


图 2 LDS 功能塑料的典型制备工艺流程

3.2 常见的 LDS 功能塑料产品及其制造商

LDS 功能塑料产品主要是欧洲、美国和日本的大型跨国公司生产,表 2 给出了部分已经商品化的 LDS 功能塑料牌号及其生产商^[14-19]。

目前市场应用最多的是 PC 和 PC / ABS 为基材的 LDS 功能塑料,产品特点为表面性能好、力学性能好、价格相对适中,成品天线的射频 (RF) 信号好。国外生产商包括 Sabic,

表 2 部分商品化 LDS 材料及其生产商

树脂基材	制造商	主要商品牌号
PC	三菱工程塑料	Xantar LDS 3710 / 3720, Xantar LDS 3730 / 3732 / 3734
	Sabic	NX07345 / NX07345P, NX10302 黑 / 11302 白
	RTP	399 X 113385 B, 2599 X 113384 A
	深圳华力兴	5H003, 5H303, 5H005G
热塑性聚酯类	BASF	Ultradur B4300GM24 LDS
	Lanxess	POCAN DP7102 LDS, POCAN DPT7140 LDS, POCAN TP710-003
PA 类	BASF	Ultramid T 4381 LDS
	RTP	4099 X 117359 D
	Sabic	UX08325 / UX08305
	DSM	Fortil LDS 51B, Fortil LDS 85B, Fortil LDS 62
LCP 类	Celanese	Vetra E840i, Vetra E845i
	RTP	3499-3 X 113393 A
	韩国 SEYANG 深圳微航电子	SEYANG LCP LDS Grade LCP-LDS 材料

三菱工程塑料, RTP, Lucky Enpla 等; 国内生产商主要有华力兴、中塑、华盈、麦艾迪等。PC 和 PC / ABS 为基材的 LDS 功能塑料占据了 LDS 材料市场一半以上的销售份额。Sabic 的 NX07345 / NX07345P, NX10302 黑 / 11302 白和三菱工程塑料公司的 Xantar LDS 3710 / 3720, Xantar LDS 3730 / 3732 / 3734 的销售量在 LDS 功能塑料市场份额中占前两位, 占据了 PC 和 PC / ABS 为基材的 LDS 功能塑料销售总量的 70% 以上。深圳华力兴新材料股份有限公司生产的 5H003, 5H303, 5H005G 是自主研发、拥有自主知识产权的 PC 和 PC / ABS 为基材的 LDS 功能塑料, 力学性能和加工性能与国际同类产品接近, 在加工稳定性和耐热性方面超过国际同类产品, 加工温度可达 300℃, 国际同类产品往往 280℃ 已经发生明显黄变。深圳华力兴新材料股份有限公司生产的 5H003 (PC), 5H303 (PC / ABS), 5H005G (PC+GF) 的典型性能见表 3。

表 3 深圳华力兴公司 LDS 功能塑料的典型性能

项目	测试标准	5H003	5H303	5H005G
冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	ISO 180	≥ 50	≥ 45	≥ 25
拉伸强度 / MPa	ISO 527	55	54	48
断裂伸长率 / %	ISO 527	95	72	14
弯曲强度 / MPa	ISO 178	83	81	76
弯曲弹性模量 / MPa	ISO 178	2 200	2 100	2 650
熔体流动速率 / [g · (10min) ⁻¹]	ISO 1133 (260℃ / 5 kg)	6.6	13.7	17.6
热变形温度 / ℃	ISO 75(1.8 MPa)	125	110	145

热塑性聚酯类基材的 LDS 功能塑料的主要生产商是德国 Lanxess 和 BASF。其中, Lanxess 开发的 POCAN 系列聚酯基材 LDS 功能塑料设计用于多种用途, 尤其用于汽车工程领域。如 POCAN DPT7140 的热变形温度高达 250℃, 据称能

够通过回流焊和蒸汽焊工艺,是高温应用的理想材料; Pocan DP7102 材料良好的流动特性可实现高的生产效率,还具有优异的表面质感,可用于无失真模塑互连器件的经济型注塑。Pocan TP710-003 则经过特别设计,可用于制造挤出型材,然后通过 LDS 工艺制成电路载体。Lanxess 公司的 PBT 基材的 LDS 功能塑料的典型性能见表 4。

表 4 Lanxess 公司 PBT 基材的 LDS 功能塑料的典型性能

项目	测试标准	DP7102	DP710-003	DPT7140
冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	ISO 180	9	9	8
拉伸强度 / MPa	ISO 527	55	51	110
断裂伸长率 / %	ISO 527	2	3.3	1.5
弯曲强度 / MPa	ISO 178	95	90	170
弯曲弹性模量 / MPa	ISO 178	6 400	6 200	12 800
熔体流动速率 / [g · (10min) ⁻¹]	ISO 1133 (260℃ / 5 kg)	10	5	16
热变形温度 / ℃	ISO 75(1.8 MPa)	115	110	210

PA 类基材 LDS 功能塑料的生产商包括 RTP (PPA), BASF (PA6 / 6T), DSM(PA4T,生物基 PPA), EMS(PA1010), 华力兴 (PA6T / 66) 等,多数采用 GF 及矿物增强 PPA 以提高材料的尺寸稳定性、降低材料的吸湿性。BASF 的 Ultramid T 4381 LDS 采用 GF 增强的 PA6 / 6T 作为基材; DSM 的 Fortil LDS 51B, Fortil LDS 85B, Fortil LDS 62 采用 GF 增强的 PA46、长碳链 PPA 作为基材。表 5 给出了 DSM 公司的 PA 基材的 LDS 功能塑料的典型性能。PA 基材的 LDS 功能材料具有优良的刚性、良好的加工性能和耐化学溶剂性能,可以制备薄壁制品。

表 5 DSM 公司 PA 基材的 LDS 功能塑料的典型性能

项目	测试标准	Fortil LDS 51B	Fortil LDS 85B	Fortil LDS 62
冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	ISO 179 / 1eA	3.0	4.0	4.5
拉伸强度 / MPa	ISO 527	120	125	105
断裂伸长率 / %	ISO 527	1.6	2.2	2.3
弯曲强度 / MPa	ISO 178		190	170
弯曲弹性模量 / MPa	ISO 178		8 400	9 000

LCP 是 20 世纪 80 年代初期发展起来的一种高性能特种工程塑料^[21-22]。液晶芳香族聚酯在液晶态下由于其大分子链取向形成规整的纤维状结构,材料的拉伸弹性模量和弯曲弹性模量非常高。LCP 基材 LDS 功能塑料的主要生产商是 Celanese 和 RTP。RTP 的 113393 A 牌号的 LDS 的市场销量曾经占据市场 LDS 功能塑料销量的第三位。Celanese 的 Vetra E840i, Vetra E845i 也占有一定市场份额,表 6 给出了它们的典型性能。

与 PC、热塑性聚酯、PA 类基材相比, LCP 基材的 LDS 功能塑料的性能更加优越,在 5G 通讯时代拥有更加广阔的应用前景。这是有由 LCP 基材的特性决定的。

LCP 的主要特点包括: ①优异的尺寸稳定性,耐蠕变性能高; ②达到熔融流动温度后熔体黏度极低,熔体流动性极佳;

表 6 Celanese 公司 LCP 基材的 LDS 功能塑料的典型性能

项目	测试标准	Vetra E840i	Vetra E845i
冲击强度 / (kJ · m ⁻²)	ISO 179 / 1eA	5.0	20
拉伸强度 / MPa	ISO 527	102	130
断裂伸长率 / %	ISO 527	3.4	1.7
弯曲强度 / MPa	ISO 178	109	180
弯曲弹性模量 / MPa	ISO 178	10 500	14 000
热变形温度 / ℃	ISO 75(1.8 MPa)	227	255

③ LCP 属于本征难燃材料,更安全、环保; ④ LCP 的力学性能高,可以进一步降低材料的厚度; ⑤ LCP 的耐溶剂性优异; ⑥ LCP 耐高温性能好,可以耐受回流焊等焊接工艺; ⑦吸湿率很低。LCP 基材的 LDS 功能塑料的一个显著缺点是价格高,另外其各向异性和着色性能很差。

3.3 LDS 功能塑料的镭雕助剂

LDS 功能塑料的镭雕助剂为具备下面特性的金属化合物: ①较高的绝缘性; ②较低的催化高分子反应活性; ③可见光光照不变色不变质性; ④可以均匀分散在塑料基体中; ⑤激光照射后能释放金属粒子; ⑥耐高温,耐化学药品性好; ⑦低毒性。市售 LDS 功能塑料用镭雕助剂有黑色、灰色和浅绿色。

目前常用的 LDS 功能助剂为铜盐如碱式磷酸铜^[23]; 铜的复合金属氧化物如铜铬黑; 铜及其化合物与锡的化合物的复合物如默克的 Irodine 8841, Irodine 8851 等^[24]。

值得注意的是,用于 LDS 功能塑料的镭雕助剂的金属化合物除了化学成分外,还常常有晶型限制,仅化学成分一致晶形结构不同不能使用。

镭雕助剂是 LDS 功能塑料的特征组分,质量占 LDS 功能塑料的 3%~10%,对 LDS 功能塑料的性能和外观有关键影响。

3.4 LDS 功能塑料的配方设计

LDS 功能塑料的配方设计原理与常规的改性工程塑料基本一致,配方结构中一般都包括抗氧体系、润滑体系、增强体系和增韧体系,差异点是 LDS 功能塑料中添加了较高含量的 LDS 镭雕助剂,由于该功能助剂是对高分子基材具有催化降解作用的金属化合物,多数为无机物,其与树脂基体的相容性也较差, LDS 功能塑料的配方设计与产品开发中必需解决下面 4 个技术难点:

(1) 镭雕助剂种类的选择及其在基体树脂中的分散是保证激光镭雕和自催化化镀均一性的基础,需要解决镭雕助剂在 LDS 功能塑料中的分散和分布问题。

(2) 抗光热降解稳定体系的设计。镭雕助剂是 LDS 功能塑料的特征组分,添加量又较高,其对高分子基材较强的催化降解作用会导致材料力学性能迅速劣化,抗光热降解稳定体系是 LDS 功能塑料配方设计中的核心问题。

(3) 为了提高 LDS 功能塑料的刚性和强度,部分 LDS 功能塑料中添加了 GF 作为增强剂,但 GF 的直径一般在 $10 \sim 13 \mu\text{m}$,在塑料中的分散分布长度一般为 $200 \sim 500 \mu\text{m}$,相对塑料中的其它组分来说形状较大,GF 取向或分散分布不均匀都会影响智能终端对 RF 信号的接收精度。GF 取向还可能引起 LDS 功能塑料的各项异性以及翘曲变形。

(4) LDS 功能助剂的添加使得该材料的配色困难,工程塑料常用的有机色粉往往不适用于该体系的配色。

3.5 LDS 镭雕助剂与激光打标助剂的异同

激光打标塑料^[25-27]是生产和生活中常见的塑料。激光打标塑料是在塑胶中添加某种激光照射下变色助剂,使得塑料激光镭射区域颜色与没有镭射区域有显著色差,使得镭射区域颜色对比度大从而实现标识的塑料。激光打标助剂所用的变色助剂习惯称之为打标助剂。表 7 给出了激光打标助剂和 LDS 功能塑料的镭雕助剂区别。

表 7 LDS 功能塑料与激光打标塑料的助剂区别

差异项	LDS 镭雕助剂	激光打标助剂
用途不同	是 LDS 功能塑料的特征组分,有特定传播电磁信号灯功能	目的一般仅为清晰永久的标记和识别功能
作用机理不同	助剂种类较少,作用机理单一	种类较多,作用机理包括碳化法、发泡法、烧蚀法,助剂自身变色等
添加量不同	添加量较大,一般为 $3\% \sim 10\%$	添加量较小,一般不超过 1%
对塑料性能影响不同	影响较大,配方设计必须考虑	影响较小,配方设计时可忽略
功能层厚度不同	表面的电镀层金属厚度较厚,可达 $10 \mu\text{m}$	激光标识层的厚度较薄,一般不会超过 $2 \mu\text{m}$,多数小于 $1 \mu\text{m}$
基材种类不同	基材种类有限,目前常用的为 PC、PC/ABS 基材,部分 LCP 基材;多为极性聚合物基材	基材种类不限,极性聚合物、非极性聚合物、弹性体;不同基材所应用的激光打标粉不同
材料外观差异	所制得的塑料色彩种类单一,一般为白色或者黑色	可以白色基材打黑标;也可以黑色基材打白标;还可以打彩标

激光打标塑料和 LDS 功能塑料的差异是功能助剂的差异及添加量引起的。打标助剂是为了防止普通塑胶产品在激光标记时打不上标记、标识不清晰而必须添加的一种助剂,其种类多、添加量低,一般不超过 1% ,对塑胶产品颜色和性能无任何影响,可标记出黑色、白色、彩色字迹,适合注塑、挤出、喷涂、油漆。LDS 功能助剂的种类比激光打标助剂少得多,添加量也大得多,对塑料的颜色、性能均有显著影响。

4 LDS 功能塑料应用及发展

4.1 LDS 功能塑料的应用

LDS 功能塑料已经被广泛应用于通信、汽车电子、机电

设备、医疗器械等应用领域,目前最大的应用领域仍然是手机天线^[28-29]。苹果、三星、华为、HTC、小米、华硕、OPPO、联想等,几乎所有手机和笔记本电脑制造商内置天线使用了 LDS 功能塑料。图 3 给出了 LDS 功能塑料制备的几个手机天线的案例图片。

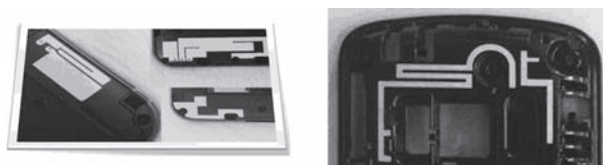


图 3 LDS 功能塑料制备的手机天线形式案例

近年来,随着移动支付的兴起, NFC 也成为潮流。2014 年 MTPS 平台建成,建设银行、中信银行、光大银行、中国银行、中国移动等 7 家机构的企业 TSM 已系统级接入运行。上海地铁支持刷 NFC 手机,北京公交、地铁、便利店已全面支持 NFC 手机。NFC 的大规模推广条件逐渐成熟。LDS 工艺整合 NFC 天线,将 NFC 用 LDS 的工艺集成到手机外壳上来,手机更轻、更薄、功能更强大。

在汽车领域,采用 LDS 功能塑料有利于汽车的小型化、轻量化和智能化:①结构紧凑,相同体积内可以设计更多功能,相同功能需要的体积小。②直接在塑胶支撑件表面形成电路,高集成度减少了汽车组装工艺和配件。③节约的空间用于其它用途,例如增加电动车的电池容量,增加智能响应器件。

国外已采用 LDS 功能塑料制造了多功能方向盘^[30]和 GPS 导航天线^[31],增加汽车功能的同时减少了汽车内部独立组件数量,有利于汽车轻量化和小型化的发展趋势。LDS 功能塑料将促进无人驾驶汽车、智能汽车的早日实现。

LDS 功能塑料的特性和优势使得其在通讯、电子器件、芯片制造、精密医疗仪器设备、汽车领域、智能家居、可穿戴设备、智能终端等领域应用市场潜力巨大。

4.2 LDS 功能塑料的研究方向

LDS 功能塑料主要应用于智能感应和电磁信号接收、传播领域,这决定其必须随着电磁波传输方式的改变而发展,进入 5G 通讯时代后,其研究发展方向包括介电性能、机械加工性能和开拓新应用领域三个方向。

(1) 介电性能。电磁波频率越高,则波长越短。5G 通讯采用毫米波段,波长很短。电磁波的波长越短,绕射能力就越差,传播过程中的电磁波的衰减也越大,意味着 5G 通讯的电磁波覆盖能力和传输信号强度相对于 4G 通讯时代的大幅度下降,材料方面就需要调控介电性能以应对^[32]。理论分析, LDS 功能塑料的介电常数对电磁信号的传输速度、信号延迟、天线长度等都有影响,但尚未见到此类研究的

相关研究报道,迫切需要科研工作者深入、系统地研究 LDS 功能塑料的组分、结构与其介电性能例如介电常数、介电损耗、介电强度等的关系,找出其中的影响变化规律,从而为 LDS 功能塑料在 5G 通讯环境下应用提供理论基础。LDS 功能塑料的基材中,LCP 介电常数仅为 2.9,损耗角正切值为 0.002~0.004,介电性能优异,即使在 5G 毫米波传输中信号损耗更小、传输速度更快,天线阵列中信号的彼此干扰更小,推测在 5G 通讯时代具有更大的应用市场。

(2) 机械加工性能。LDS 功能塑料在机械加工方面的研究方向根据人们对 LDS 制品的要求进行。例如,对于有薄壁要求的终端产品,选择流动性更好的基材或者提高材料的熔体流动性,如用流动性更好的 PA 甚至 LCP 基材制备 LDS 功能塑料;对于小型化集成化的终端产品,在保证材料优异加工流动性的同时提高材料的强度和刚性,同时要兼顾材料的介电性能和散热性能。这些需要设计工作者在熟练掌握配方设计原理的基础上,根据终端制件的应用环境和应用条件要求选择合适的树脂基材和合适的 LDS 镭雕助剂进行设计开发。

(3) 开拓新应用领域。LDS 功能塑料还要与 5G 通讯时代不断涌现的新技术、新产品、新领域相结合,以满足通讯器件、传感器和智能终端更轻、更小、更薄的发展趋势。例如:

① LDS 功能塑料在新工艺中的应用,如 LDS 功能塑料应用于 3D 打印工艺;LDS 功能塑料应用于纳米注塑工艺^[33-34];

② 可以与其它材质嵌合的 LDS 材料,如与玻璃、陶瓷、木材、木塑材料的嵌合;

③ LDS 材料与新技术的应用,如 VR 技术,AR 技术,微发泡技术;在新领域中的应用,如智能家居领域、智能汽车领域、智能医疗领域、可穿戴设备领域等。

5G 时代,随着物联网、车联网、无人驾驶、人工智能、仿生机器人的迅猛发展,万物互联的智能时代的来临,LDS 功能塑料前景可期,市场潜力乐观。

参考文献

- [1] 方汝仪. 信息技术, 2017(1):142-145.
Fang Ruyi. Information Technology, 2017(1):142-145.
- [2] 史书汉,等. 印刷电路信息, 2014(1):23-27.
Shi Shuhan, et al. Printed Circuit Information, 2014(1):23-27.
- [3] 张学达,等. CN103633430A[P].2014-03-12.
Zhang Xueda, et al. CN103633430A[P].2014-03-12.
- [4] 张为林,等. CN104505587A[P].2015-04-08.
Zhang Weilin, et al. CN104505587A[P].2015-04-08.
- [5] 张范琦,等. 杭州电子科技大学学报:自然科学版, 2015(2):13-15.
Zhang Fanqi, et al. Journal of Hangzhou Dianzi University:Natural Science, 2015(2):13-15.
- [6] 马军禄. CN204966672U[P].2016-01-13.
Ma Junlu. CN 204966672U[P].2016-01-13.
- [7] 黄玉梁,等. CN206059630U[P].2017-03-29.
Huang Yuliang, et al. CN206059630U[P].2017-03-29.
- [8] 湛保军,等. CN207303327U[P].2018-05-01.
Zhan Baojun, et al. CN207303327U[P].2018-05-01.
- [9] 杨淑侠. CN208507960U[P].2019-02-15.
Yang Shuxia. CN208507960U[P].2019-02-15.
- [10] 刘欢. LDS 材料的制备、配方优化、性能及应用研究 [D]. 成都: 四川师范大学, 2018.
Liu Huan. Study of the Preparation, formula optimization, performance and application of LDS materials[D]. Chengdu:Sichuan Normal University, 2018.
- [11] 曹艳霞,等. 机遇来了, LDS 应战无线通讯时代 [J/OL]. <https://www.adsalecprj.com.2015-06-01>.
Cao Yanxia, et al. The opportunity came,LDS war wireless communication era[J / OL]. <https://www.adsalecprj.com.2015-06-01>.
- [12] 宫清,等. CN102286210A[P].2013-01-30.
Gong Qing, et al. CN102286210B[P].2013-01-30.
- [13] 宫清,等. CN101747650B[P].2012-01-04.
Gong Qing, et al. CN101747650B[P].2012-01-04.
- [14] 博纳尔杜斯·安东尼斯·赫拉尔杜斯·齐劳温. CN102770278B[P].2015-11-25.
Bonardus ·antonis ·heraldus ·chilowin. CN102770278B[P].2015-11-25.
- [15] 茂木笃志,等. CN104023990B[P].2015-06-10.
Shigeki Atsushi, et al. CN104023990B[P].2015-06-10.
- [16] 彼得·吉斯曼,等. CN102762658B[P].2016-01-13.
Peter Giesman, et al. CN102762658B[P].2016-01-13.
- [17] 茂木笃志,等. CN104159971B[P].2015-07-08.
Shigeki Atsushi, et al. CN104159971B[P].2015-07-08.
- [18] 曹艳霞,等. CN104497537B[P].2016-08-31.
Cao Yanxia, et al. CN104497537B[P].2016-08-31.
- [19] 曹艳霞,等. CN104497535B[P].2016-08-31.
Cao Yanxia, et al. CN104497535B[P].2016-08-31.
- [20] 吴彤,等. CN106928682B[P].2019-04-23.
Wu Tong, et al. CN106928682B[P].2019-04-23.

- Huang Guan, et al. CN109734995A[P].2019-05-10.
- [11] 姚和平,等. 汽车与配件,2006(32):40-41.
Yao Heping, et al. Automobile & Parts, 2006(32):40-41.
- [12] 黄小平. CN106758273A[P].2017-05-31.
Huang Xiaoping. CN106758273A[P].2017-05-31.
- [13] 钱晓明,等. CN106521956A[P].2017-08-15.
Qian Xiaoming, et al. CN106521956A[P].2017-08-15.
- [14] 王美瑞,等. CN107700229A[P].2018-02-16.
Wang Meirui, et al. CN107700229A[P].2018-02-16.
- [15] 陈峻,等. CN105986490A[P].2016-10-05.
Chen Jun, et al. CN105986490A[P]. 2016-10-05.
- [16] 丁惠阳,等. CN103556489B[P].2016-10-05.
Ding Huiyang, et al. CN103556489B[P].2016-10-05.
- [17] 宇文欢,等. 西部皮革,2016,38(21):55-59.
Yu Wenhuan, et al. West Leather, 2016, 38(21):55-59.
- [18] 孙晶晶,等. 现代纺织技术,2010,18(2):55-60.
Sun Jingjing, et al. Advanced Textile Technology, 2010, 18(2):55-60.
- [19] 苏真伟,等. 皮革科学与工程,1993,3(4):15-20.
Su Zhenwei, et al. Leather Science and Engineering, 1993, 3(4):15-20.
- [20] 张晓镭,等. 中国皮革,2003,32(9):30-35.
Zhang Xiaolei, et al. China Leather, 2003, 32(9):30-35.
- [21] 李志强,等. CN1261747C[P].2006-06-28.
Li Zhiqiang, et al. CN1261747C[P].2006-06-28.
- [22] 陈敏,等. 中国皮革,2006(21):33-36.
Chen Min, et al. China Leather, 2006(21):33-36.
- [23] 董继先,等. 中国皮革,2008,37(11):43-45.
Dong Jixian, et al. China Leather, 2008, 37(11):43-45.
- [24] 张三,等. 皮革科学与工程,2010,20(3):67-69.
Zhang San, et al. Leather Science and Engineering, 2010, 20(3):67-69.
- [25] 张三,等. 皮革科学与工程,2010,39(9):38-42.
Zhang San, et al. Leather Science and Engineering, 2010, 39(9):38-42.
- [26] 王震,等. 中国皮革,2012,41(21):21-23.
Wang Zhen, et al. China Leather, 2012, 41(21):21-23.
- [27] Zhou X, et al. Biosurface and Biotribology, 2018, 4(4):99-111.
- [28] Liu X, et al. Journal of Physics:Conference Series, 2005, 13:357-361.
- [29] Chen X, et al. International Journal of Design, 2009, 3(2):67-77.
- [30] Skedung L, et al. Tribology International, 2011, 44(5):505-512.
- [31] Chimata G P, et al. Biotribology, 2017, 11:102-109.
- [32] Ndengue J D, et al. IEEE Trans Haptics, 2016, 99:409-417.
- [33] Anne K, et al. Plos One, 2013, 8(11):e79085-1-8.

(上接第 144 页)

- [21] 郭曦,等. LCP 在挠性电路板和 FRID 上的应用研究 [C]. 第十届中国覆铜板市场技术研讨会论文集,2009:125-130.
Guo Xi, et al. Progress in application of liquid crystal polymer for FCC and RFID[C]. Proceedings of the 10th China CCL Market Technology Symposium, 2009:125-130.
- [22] 孙兆懿,等. 工程塑料应用,2016,44(9):113-116.
Sun Zhaoyi, et al. Engineering Plastics Application, 2016, 44(9):113-116.
- [23] 曾祥斌,等. 塑料工业,2016,44(2):34-38.
Zeng Xiangbin, et al. China Plastics Industry, 2016, 44(2):34-38.
- [24] H·B·克尼斯,等. CN105230133B[P].2019-01-15.
Kness H B, et al. CN105230133B[P].2019-01-15.
- [25] 余非,等. 中国电子商情,2003(5):52-53.
Yu Fei, et al. China Electronic Market, 2003(5):52-53.
- [26] 封驰,等. 中国塑料,2011(9):11-15.
Feng Chi, et al. China Plastics, 2011(9):11-15.
- [27] 徐亮,等. 企业科技与发展,2016(10):36-38.
Xu Liang, et al. Sci-Tech Development of Enterprise, 2016(10):36-38.
- [28] 冯域淞. 通信世界,2015(8):35-36.
Feng Yusong. Communications World, 2015(8):35-36.
- [29] 赖华林,等. 塑料科技,2018(9):137-142.
Lai Hualin, et al. Plastics Science and Technology, 2018(9):137-142.
- [30] Artner G, et al. Material induced changes of antenna performance in vehicular applications[C]. IEEE International Conference, 2015:1-4.
- [31] Friedrich A, et al. An active three-dimensional GPS patch antenna using MID-technology[C]. European IEEE, 2015:373-376.
- [32] 程静,等. 印制电路信息,2012(9):42-48.
Cheng Jing, et al. Printed Circuit Information, 2012(9):42-48.
- [33] 曹艳霞,等. CN105623206B[P].2017-12-15.
Cao Yanxia, et al. CN105623206B[P].2017-12-15.
- [34] 曹艳霞,等. CN105694447B[P].2018-01-26.
Cao Yanxia, et al. CN105694447B[P].2018-01-26.