

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.12.020

层压缓冲垫对PTFE介质基板性能的影响

郭晓光, 贾倩倩, 张立欣, 金霞, 李强

(中国电子科技集团公司第四十六研究所, 天津 300220)

摘要: 在短玻璃纤维(GF)和陶瓷粉增强聚四氟乙烯(PTFE)介质基板的真空层压过程中,缓冲垫起到非常重要的作用。采用1,2,4 mm和6 mm 4种厚度,GF和陶瓷纤维两种材质的缓冲垫,研究其对PTFE介质基板厚度和介电均匀性的影响。以料温线测试、铅条测试、感压纸测试3种手段表征不同缓冲垫条件下介质基板受到的温度和压力均匀性,分析了基板厚度和介电均匀性的影响机理。结果表明,陶瓷纤维的硬度高于GF,其制备的缓冲垫对压力的缓冲和温度的传导效果最好。当缓冲垫厚度过薄时,起不到很好的缓冲效果,厚度过厚时,将会导致温度和压力的均匀性变差。最终得到性能最优的缓冲垫为厚度为4 mm的陶瓷纤维缓冲垫。该条件下,层压机料温均值为379℃,极差4.91℃,基板厚度均值为0.51 mm,极差0.035 mm,介电常数为2.942 6,介电常数极差0.025,保证了微波介质基板的性能符合要求。

关键词: 缓冲垫;聚四氟乙烯;介质基板;厚度;介电常数;感压纸

中图分类号: TQ320 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)12-0118-06

Effect of Laminated Cushion on Properties of PTFE Dielectric Substrate

Guo Xiaoguang, Jia Qianqian, Zhang Lixin, Jin Xia, Li Qiang

(The 46th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Tianjin 300220, China)

Abstract : The laminated cushion plays a very important role in the vacuum lamination of short glass fiber (GF) and ceramic powder reinforced polytetrafluoroethylene (PTFE) dielectric substrate. The cushions of 1, 2, 4 mm and 6 mm in thickness, GF and ceramic fiber in materials were used to study their effects on the thickness and dielectric uniformity of PTFE dielectric substrate. The temperature and pressure uniformity of dielectric substrates laminated with different cushions were characterized by material temperature line test, lead strip test and pressure sensitive paper test. The influence mechanism of substrate thickness and dielectric uniformity was analyzed. The results show that the hardness of ceramic fiber is higher than that of GF, and the cushion made of ceramic fiber has the best effect on pressure buffering and temperature conduction. When the thickness of the cushion is too thin, it can't have a good cushioning effect. When the thickness is too thick, it leads to the deterioration of the uniformity of temperature and pressure. Finally, the ceramic fiber cushion with a thickness of 4 mm is obtained as the cushion with the best performance. Under this condition, the average material temperature during lamination is 379℃, the range is 4.91℃, the average thickness of the substrate is 0.51 mm, the range is 0.035 mm. The dielectric constant is 2.942 6 with the range of 0.025, which ensures that the performance of the microwave dielectric substrate meets the requirements.

Keywords : cushion ; polytetrafluoroethylene ; dielectric substrate ; thickness ; dielectric constant ; pressure-sensitive paper

随着电子信息技术的发展,各类电子设备的通信频率向高频、高速化方向迈进,传统的电路板材料将不再满足高频高速信号传输的需求。聚四氟乙烯(PTFE)介质基板材料由于其电气性能优异,耐

腐蚀、耐热,且介电常数和介电损耗具有宽频稳定性,非常适合用作高速数字化和高频电路板材料^[1-3]。但是PTFE可加工性较差,力学性能较差,热膨胀系数大^[4-5],需要在其中加入玻璃纤维(GF)增强

通信作者: 贾倩倩,高级工程师,博士,主要研究方向为PTFE基复合介质基板及粘接材料

收稿日期: 2022-10-26

引用格式: 郭晓光,贾倩倩,张立欣,等.层压缓冲垫对PTFE介质基板性能的影响[J].工程塑料应用,2022,50(12):118-123.

Guo Xiaoguang, Jia Qianqian, Zhang Lixin, et al. Effect of laminated cushion on properties of PTFE dielectric substrate[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(12): 118-123.

材料来提高尺寸的稳定性,并加入陶瓷粉来调节其介电性能^[6-8]。PTFE介质基板的介质层是由PTFE、陶瓷粉和短GF组成的厚度均匀一致的片材,采用真空层压机进行双面覆铜烧结,最终得到微波复合介质基板材料^[9]。用于高频电路的PTFE介质基板,必须要求厚度均匀,公差小^[10]。

真空层压机是用于生产制造微波复合介质基板的重要设备^[11-13]。在真空层压过程中,可以除去空气和挥发物,通过液压的圆柱体加压到压力平板上,平板采用蒸汽、热煤油或电热元件来加热。在一定温度下,通过机械压合作用,使介质层和铜箔粘合在一起。

PTFE介质基板的真空层压是利用PTFE的热塑性,高温下熔融流动,与陶瓷粉成为连续基体,并与两面的铜箔形成粘接,制备成覆铜板。基板的厚度均匀性直接取决于层压机的温度和压力均匀性。温度均匀性可以通过热电偶检测的方式来解决,而压力均匀性则与热板加工平整性、高温下钢板和承载盘的平行度等因素息息相关,除此之外还与层压时使用的缓冲垫的种类和厚度有关^[14]。目前,针对短GF和陶瓷粉增强PTFE介质基板,只有层压温度和压力的工艺参数讨论,尚未有层压缓冲垫的种类和厚度方面的研究。

笔者分别讨论了GF和陶瓷纤维两种不同厚度的缓冲垫对PTFE介质基板厚度和介电均匀性的影响,分析了其影响机理,得到最优的缓冲垫类型和厚度规格。

1 实验部分

1.1 主要原材料

短GF和陶瓷粉增强PTFE生基片:自制^[15];
缓冲垫:GF和陶瓷纤维,厚度为1,2,4 mm和6 mm,深圳瑞昌星科技有限公司;
钢板:SUS420,浙江森宇实业有限公司;
料温线:GG-K-30-SLE型,美国omega公司;
铅条:3 mm,山东泽林金属制品有限公司;
感压纸:LLW,日本富士株式会社。

1.2 主要仪器及设备

精密千分尺:293-240-30型,日本三丰公司;
网络分析仪及带状线测试夹具:E8358A型,美国Agilent公司;
真空层压机:VLP-260型,中国台湾活全机器股份有限公司。

1.3 试样制备

以短GF和陶瓷粉增强的PTFE生基片为原材料。首先将钢板、铜箔、生基片、缓冲垫摆放整齐,检查设备状态;其次按照规定次序进行多层叠层;然后用夹好无尘布的砂纸夹轻轻地擦拭将内部多余空气赶出;再将钢板覆盖在叠好的基片之上,最后盖上盖板,使用回流线将叠好的板材整体传输到装载区,推到高温层压机内部,进行高温热压,得到微波复合介质基板,叠层结构如图1所示。实验结构设计列于表1。

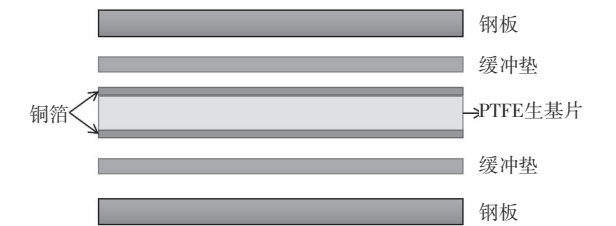


图1 PTFE介质基板叠层结构示意图

表1 PTFE介质基板层压实验设计表

叠层实验设计	缓冲垫类型	单层缓冲垫厚度/mm
结构1	GF垫	1
结构2	GF垫	2
结构3	GF垫	4
结构4	GF垫	6
结构5	陶瓷纤维垫	1
结构6	陶瓷纤维垫	2
结构7	陶瓷纤维垫	4
结构8	陶瓷纤维垫	6

1.4 性能测试与表征

介质基板的厚度:采用精密千分尺测试,测试18英寸×24英寸面积范围内96个点位的厚度,以厚度的算术平均数为厚度均值,以最大值和最小值的差为厚度极差。

介质基板的介电性能:采用网络分析仪配合带状线测试夹具对样品在X波段(8~12 GHz)范围进行测试。测试18英寸×24英寸面积范围内24个点位的介电常数,以介电常数的算术平均数为介电常数均值,以最大值和最小值的差为介电常数极差。

层压机的温度均匀性:采用料温线来测试,在18英寸×24英寸面积范围内,测试24个点位的温度,以温度的算术平均数为温度均值,以最大值和最小值的差为温度极差。

层压机的压力均匀性:采用两种方式表征。第一种是3 mm的铅条测试,将铅条放置于热盘之间,施加层压压力,在18英寸×24英寸面积范围内,测试24个点位的压后铅条的厚度,以厚度的均值表示热

盘压力的数值,极差表示热盘的平整性;第二是感压纸显色,将生基片和感压纸同时放置于层压热板之间,在特定压力下进行压合一段时间,以感压纸的显色均匀程度来判断有效面积范围内的压力均匀性。

2 结果与讨论

2.1 缓冲垫的种类和厚度对PTFE介质基板厚度的影响

实验选用PTFE生基片的厚度均值为0.635 mm,极差 ≤ 0.050 mm,均匀性良好。在一定的热压温度和压力下,由于PTFE熔融后发生一定程度的厚度收缩,层压制成的PTFE介质基板目标厚度均值为0.508 mm,极差越小越好。由于缓冲垫种类和厚度不同,对压力的缓冲效果将各不相同,因此基板的厚度均值和极差也有所不同。

图2为不同缓冲垫种类和厚度对PTFE介质基板厚度的影响。从图2a厚度均值变化趋势看出,陶瓷纤维缓冲垫制备介质基板的厚度均值较大,两种缓冲垫制备基板的厚度均值均随着缓冲垫厚度的增加而增大,当使用4 mm陶瓷纤维缓冲垫和6 mm GF缓冲垫时,基板的厚度均值与目标厚度0.508 mm最为接近。从图2b厚度极差变化趋势看出,陶瓷纤维垫制备基板的厚度极差随缓冲垫厚度的增

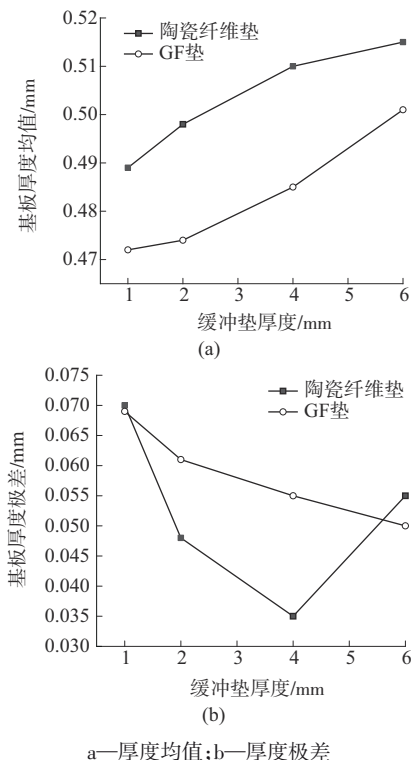


图2 不同缓冲垫种类和厚度对PTFE介质基板厚度的影响

加先下降再上升,而GF垫制备的基板厚度极差则是逐渐下降的趋势。基板的厚度极差代表了厚度均匀性,极差越小越好,因此,陶瓷纤维垫的最佳厚度为4 mm,而6 mm GF垫的极差值依然大于陶瓷纤维垫。

2.2 缓冲垫的种类和厚度对PTFE介质基板介电性能的影响

PTFE介质基板的覆铜热压过程中,PTFE树脂发生熔融,在压力下致密化,有机无机界面结合力增强,形成致密的整体,表现出优异的介电性能^[16-17]。当缓冲垫的种类和厚度发生变化,将影响施加在PTFE生基片上的压力均匀性,这种微小的变化引起微观结构中的界面结合问题,表现在宏观性能上就是各处的介电常数不同。

图3为缓冲垫种类和厚度对PTFE介质基板介电常数的影响。从图3a介电常数均值变化趋势看出,陶瓷纤维缓冲垫制备介质基板的介电常数均值都小于GF缓冲垫样品,两种缓冲垫制备基板的介电常数均值均随着缓冲垫厚度的增加而下降,当使用4 mm陶瓷纤维缓冲垫和6 mm GF缓冲垫时,基板的介电常数均值与目标介电常数2.94最为接近。从图3b厚度极差变化趋势看出,陶瓷纤维垫制备基板的介电常数极差随缓冲垫厚度的增加先下降再

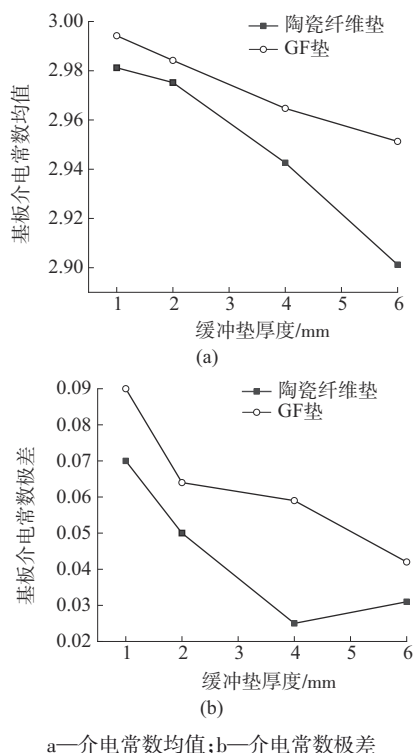


图3 缓冲垫种类和厚度对PTFE介质基板介电常数的影响

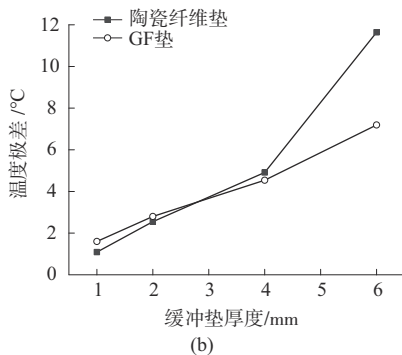
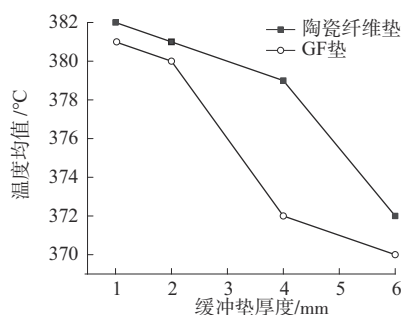
上升,而GF垫制备的基板介电常数极差则呈逐渐下降的趋势。基板的介电常数极差代表了介电常数的均匀性,极差越小越好,因此,陶瓷纤维垫的最佳厚度为4 mm,而不同厚度GF垫制备样品的极差始终大于陶瓷纤维垫制备的样品。

2.3 影响机理分析

高温真空层压使用的缓冲垫是为了补偿层压机中的不平行、弓曲、翘曲、压力不均匀和厚度不平整而设置的^[14],高温应用的缓冲垫材质一般选用耐热的陶瓷或者GF,呈现疏松多孔的结构特点,同时陶瓷纤维或GF单丝硬度高,抗压强度高,不含高分子胶,适合PTFE介质基板的高温高压工艺。由于无机纤维的导热性能低于金属材料,缓冲垫的加入会导致介质层受到的温度较为滞后,需要一定时间料温才能达到设定温度。笔者从温度和压力均匀性两方面分析不同种类和厚度的缓冲垫对PTFE介质基板的影响机理。

(1)温度均匀性。

在层压的压力下,将压机温度升温至380℃保温1 h,测试24个点的温度,研究缓冲垫的种类和厚度对各个点位温度均值和极差的影响,结果如图4所示。温度均值越接近380℃,温度极差越小,说明缓冲垫的导热效果越好。由图4a看出,随着缓冲垫厚度的增加,温度均值逐渐下降,说明缓冲垫厚



a—温度均值;b—温度极差

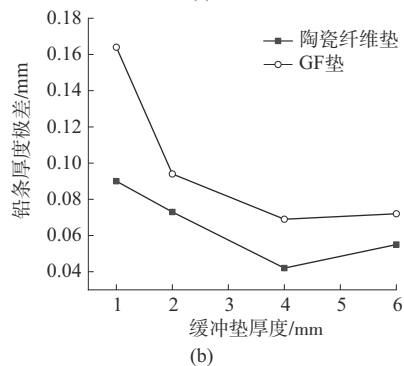
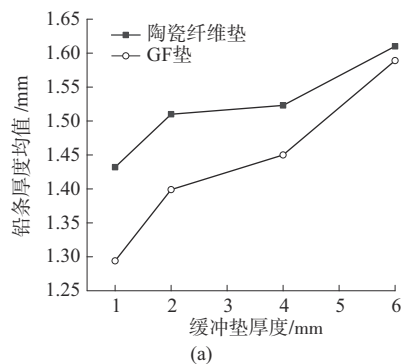
图4 缓冲垫种类和厚度对层压机料温的影响

度越厚,导热效果越差,导致温度越偏离设定温度380℃。而2 mm和4 mm的陶瓷纤维垫和2 mm的GF缓冲垫得到的温度均值与380℃最为接近。由图4b看出,温度极差随着两类缓冲垫厚度的增加而升高,这也是与缓冲垫的隔热效应有关,因此不能选择过厚的缓冲垫。

(2)压力均匀性。

第一方面,采用压后铅条的厚度表征。

在室温下,将压机压力升高至PTFE介质基板的层压压力10 MPa,保压1 h,测试24个点位压后铅条的厚度,研究缓冲垫的种类和厚度对铅条厚度极差的影响,测试结果如图5所示。铅条原始厚度为3.0 mm,当受压时,厚度下降至1.5 mm左右。由图5a看出,铅条的厚度均值随缓冲垫厚度的增加而升高,说明缓冲垫起到了有效的压力缓冲作用,压机的压力一定程度上被减弱,铅条厚度有所增加,其中陶瓷纤维垫的厚度均值较高,说明其受压变形程度比GF垫要弱一些。而由图5b看出,随着厚度的增加,两种缓冲垫条件下铅条厚度极差先下降后升高,极差越小越好,这说明一定厚度的缓冲垫可以弥补机械工装造成的压力的不均匀性,但是过厚的缓冲垫反而是不利于压力均匀性。同时可看出,陶瓷纤维缓冲垫条件下,压后铅条的厚度极差小于



a—铅条厚度均值;b—铅条厚度极差

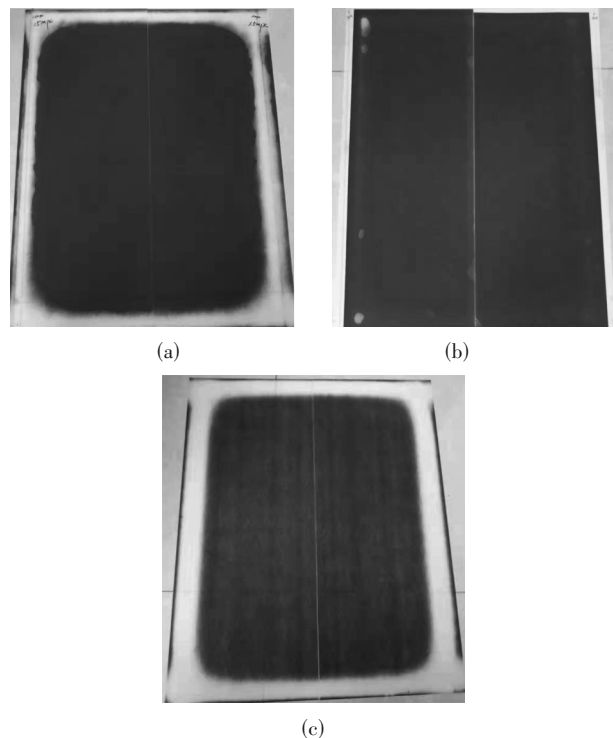
图5 缓冲垫种类和厚度对层压机压力的影响

GF,因此从压力均匀性方面,优选4 mm的陶瓷纤维缓冲垫。这也是该规格缓冲垫制备的PTFE介质基板厚度和介电常数均匀性优于其它条件的根本原因。

第二方面,采用感压纸显色的方式表征。

当感压纸与PTFE生基片共同放入层压机,在室温下,升高至层压压力10 MPa时,保压后取出,感压纸的显色均匀性可代表PTFE生基片的受压均匀性情况。此方法有利于表示层压机有效面积范围内压力的分布趋势,从而给层压实验带来一定的指导。笔者选择了温度均值最符合要求的2 mm和4 mm的陶瓷纤维垫和2 mm的GF缓冲垫进行感压纸实验,如图6所示。从图6看出,三种缓冲垫的显色均匀性各不相同,其中4 mm陶瓷纤维垫的感压纸显色效果非常均匀,有效面积内都能平均染色,代表压力均匀一致;而另外两种缓冲垫中心显色状态良好,表示压力均匀,满足要求,而边缘的压力过低,无法满足介质基片压合所需的压力,这说明层压机的压力施加在PTFE介质基板上也是不均匀的,因此会造成厚度和介电常数均匀性的恶化。综上,优选4 mm陶瓷纤维缓冲垫作为PTFE介质基板使用的缓冲垫。

综合以上实验,不同缓冲垫条件对介质基板厚



a—2 mm 陶瓷纤维垫; b—4 mm 陶瓷纤维垫; c—2 mm 的GF垫

图6 不同规格缓冲垫的感压纸实验

度和介电均匀性的影响是由于陶瓷纤维的硬度高于GF,其制备的缓冲垫对压力的缓冲和温度的传导效果最好。当缓冲垫厚度过薄时,起不到缓冲的效果,厚度过厚时,将会导致温度和压力的均匀性变差。最终,得到最优的缓冲垫规格为4 mm厚度的陶瓷纤维缓冲垫。该条件下,料温均值为379℃,极差4.91℃,基板厚度均值为0.51 mm,极差0.035 mm,介电常数为2.942 6,介电常数极差0.025,保证微波介质基板的性能符合要求。

3 结论

研究了不同厚度和种类的缓冲垫对PTFE介质基板厚度和介电均匀性的影响。结果表明,陶瓷纤维制备的缓冲垫对压力的缓冲和温度的传导效果优于GF制备的缓冲垫。在厚度方面,当缓冲垫厚度过薄时,起不到缓冲的效果,厚度过厚时,将会导致温度和压力的均匀性变差。使用厚度为4 mm的陶瓷纤维缓冲垫时,料温均值为379℃,极差4.91℃,基板厚度均值为0.51 mm,极差0.035 mm,介电常数为2.942 6,介电常数极差0.025,保证微波介质基板的性能符合要求。

参考文献

- [1] 张勇. 基于5G通信的PTFE基高频覆铜板研究[D]. 南京: 南京大学, 2020.
Zhang Yong. Study on PTFE based high frequency copper clad laminate applied in 5G communication[D]. Nanjing: Nanjing University, 2020.
- [2] 李苗, 邹嘉佳, 刘建军, 等. 聚四氟乙烯覆铜板发展概况[J]. 电子与封装, 2018, 18(6):1-25.
Li Miao, Zou Jiajia, Liu Jianjun, et al. Overview of the development of PTFE copper clad laminate[J]. Electronics & Packaging, 2018, 18(6):1-25.
- [3] 谭友洪. 聚四氟乙烯基高频覆铜板制备及性能研究[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2022.
Tan Youhong. Preparation and properties of PTFE based high frequency copper clad laminate[D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2022.
- [4] 彭代信. 高频聚四氟乙烯板材介绍[J]. 印制电路信息, 2012(7): 15-43.
Peng Daixin. High frequency PTFE introduction[J]. Printed Circuit Information, 2012(7):15-43.
- [5] 贾倩倩, 赖占平, 李强, 等. 空心球陶瓷粉填充PTFE基复合基板的制备及性能[J]. 电子元件与材料, 2021, 40(1):19-23.
Jia Qianqian, Lai Zhanping, Li Qiang, et al. Preparation and properties of PTFE based composite laminates filled by hollow sphere ceramic powders[J]. Electronics Components and Materials, 2021, 40(1):19-23.

- [6] 王军山,金霞,贾倩倩,等.超细玻纤的长度分布调控及其PTFE基复合材料力学性能[J].复合材料科学与工程,2020(8):107-112.
Wang Junshan, Jin Xia, Jia Qianqian, et al. Length control of ultra-thin glass fiber and their mechanical properties of PTFE based composite materials[J]. Composite Materials Science and Engineering, 2020(8):107-112.
- [7] 贾倩倩,张立欣,金霞,等. TiO_2 粒径对PTFE基复合材料介电损耗和吸水率的影响[J]. 电子元件与材料, 2019, 38(6):42-49.
Jia Qianqian, Zhang Lixin, Jin Xia, et al. Effect of TiO_2 particle size on dielectric loss and water adsorption of PTFE-based composites[J]. Electronics Components and Materials, 2019, 38(6):42-49.
- [8] 闫翔宇,袁颖,吴开拓,等. 烧结工艺对 SiO_2 - TiO_2 /PTFE 复合材料性能的影响[J]. 压电与声光, 2014, 36(2):270-274.
Yan Xiangyu, Yuan Ying, Wu Kaituo, et al. Influences of sintering process on the properties of SiO_2 - TiO_2 /PTFE composites[J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2014, 36(2):270-274.
- [9] 丁志廉. 基于PTFE的PCB的多层层压方法 [J]. 印制电路信息, 2006(3):49-54.
Ding Zhilian. Multilayer lamination methods for PTFE-based PCBS [J]. Printed Circuit Information, 2006(3):49-54.
- [10] 戴银海,朱忠翰,沈岳峰,等. 一种微波多层PTFE材料压合技术研究 [J]. 电子工艺技术, 2019, 40(2):109-124.
Dai Yin Hai, Zhu Zhonghan, Shen Yuefeng, et al. Study on multilayer lamination of microwave PTFE composite material[J]. Electronics Process Technology, 2019, 40(2):109-124.
- [11] 张利华,徐明. 浅谈刚挠PCB的压合叠层[J]. 印制电路信息, 2013(5):56-61.
Zhang Lihua, Xu Ming. Rigid flex PCB lamination bonding improvement[J]. Printed Circuit Information, 2013(5):56-61.
- [12] 谭炳良,袁颖,蒋泽华,等. 层压结构对玻璃纤维增强聚四氟乙烯复合介质基板的性能影响[J]. 电子元件与材料, 2018, 37(7):63-68.
Tan Bingliang, Yuan Ying, Jiang Zehua, et al. Effects of laminated construction on properties of glass fiber reinforced polytetrafluoroethylene composite substrates[J]. Electronic Components and Materials, 2018, 37(7):63-68.
- [13] 周洪庆,刘敏,王晓钧. 热压对PTFE基复合介质结构性能的影响[J]. 电子元件与材料, 2001, 20(4):1-48.
Zhou Hongqing, Liu Min, Wang Xiaojun. The effect of heat press on the structure and properties of PTFE-based composites[J]. Electronic Components and Materials, 2001, 20(4):1-48.
- [14] 管术春,朱贻军,王正坤. 压合缓冲垫在PCB层压制程中的应用研究[J]. 印制电路信息, 2019(6):25-28.
Guan Shuchun, Zhu Yijun, Wang Zhengkun. Application study on the buffer material v-board in the process of PCB[J]. Printed Circuit Information, 2019(6):25-28.
- [15] 王丽婧,张立欣,宋永要,等. 干燥工艺对微波复合介质基板性能的影响[J]. 压电与声光, 2017, 39(1):113-115.
Wang Lijing, Zhang Lixin, Song Yongyao, et al. Effect of drying process on the properties of microwave dielectric composite substrate[J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2017, 39(1):113-115.
- [16] 崔毓仁,袁颖,钟朝位. 热压成型温度对PTFE/ SiO_2 复合材料性能的影响[J]. 电子元件与材料, 2013, 32(10):21-24.
Cui Yuren, Yuan Ying, Zhong Chaowei. Influences of thermoforming temperature on the properties of PTFE/ SiO_2 composites[J]. Electronic Components and Materials, 2013, 32(10):21-24.
- [17] 杨熙,杨俊,于丁丁,等. 热压温度对PTFE/GF复合基板性能的影响[J]. 压电与声光, 2016, 38(2):293-297.
Yang Xi, Yang Jun, Yu Dingding, et al. Effect of hot pressing temperature on the properties of polytetrafluoroethylene(PTFE)/woven glass fiber(GF) microwave composites substrate[J]. Piezoelectrics and Acoustooptics, 2016, 38(2):293-297.