

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.10.002

透明低介电耐高温 PMIA/PSA 复合薄膜制备与性能

张伟,胡祖明,于俊荣,王彦,诸静

(东华大学材料科学与工程学院纤维材料改性国家重点实验室,上海 201620)

摘要: 将聚间苯二甲酰间苯二胺 (PMIA) 和聚苯砜对苯二甲酰胺 (PSA) 按不同比例进行共混改性,通过刮涂法制得 PMIA, PSA 薄膜及四种比例的 PMIA/PSA 复合薄膜,并通过扫描电子显微镜 (SEM)、紫外-可见近红外光谱、介电常数、体积电阻率等测试对薄膜的形貌结构和性能进行了表征。结果表明,这六种薄膜透光率都接近 90%; 体积电阻率都达到 $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上,表面电阻率都达到 $10^{16} \Omega$ 以上; 四种复合薄膜的介电常数在 2.2~2.5,介电损耗在 0.01~0.02,介电常数和介电损耗都较低。PMIA/PSA 质量比 8/2 时复合薄膜的力学性能最好,拉伸强度为 87 MPa; 断裂伸长率达到 66.7%,比 PMIA 薄膜提高了 451%,比 PSA 薄膜提高了 39.2%,断裂功最大,另外通过 SEM,动态热机械和差示扫描量热测试发现此时 PMIA/PSA 薄膜相容性最好,因此 PMIA/PSA 质量比为 8/2 的薄膜在电子封装领域有着更广阔的应用前景和 market 价值。

关键词: 聚间苯二甲酰间苯二胺; 聚苯砜对苯二甲酰胺; 介电性能; 热稳定性; 光学性能

中图分类号: TQ432.19 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)10-0007-06

Preparation and Properties of Transparent PMIA/PSA Composite Membranes with Low Dielectric and High Temperature Resistant

Zhang Wei, Hu Zuming, Yu Junrong, Wang Yan, Zhu Jing

(State Key Laboratory for Modification of Chemical Fibers and Polymer Materials, College of Material Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Poly(m-phenylene isophthalamide) (PMIA) membrane, polyphenylsulfone terephthalamide (PSA) membrane and four composite membranes were prepared by PMIA and PSA in different proportions, the morphology and properties of the six membranes were characterized by scanning electron microscopy (SEM), ultraviolet-visible near-infrared spectroscopy, dielectric constant and volume resistivity. The results show that the transmittance of these six membranes is close to 90%; the volume resistivity is above $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, and the surface resistivity is above $10^{16} \Omega$. The dielectric constant of four composite membranes is between 2.2 and 2.5, and the dielectric loss is between 0.01 and 0.02, both dielectric constant and dielectric loss are relatively small. PMIA/PSA membrane with mass ratio of 8/2 has the best mechanical properties, with tensile strength of 87 MPa; elongation at break of 66.7%, 451% higher than that of PMIA membrane, and 39.2% higher than that of PSA membrane; and the fracture work is the largest of the six membranes. In addition, the best compatibility of PMIA/PSA (8/2) membrane was found by SEM, DMA and DSC, therefore, PMIA/PSA (8/2) membrane has broader application prospects and market value in the field of electronic packaging.

Keywords: poly(m-phenylene isophthalamide); polyphenylsulfone terephthalamide; dielectric property; thermal stability; optical property

近年来随着微电子工业的迅速发展,电子设备的小型化、高度集成化、柔性化极大地推动了柔性绝

缘薄膜材料的快速发展^[1]。为达到更高的集成度,要求芯片越来越小,但同时会导致线路中电阻和电

基金项目: 上海市国际交流合作项目 (16160731302)

通讯作者: 胡祖明,教授,博士生导师,主要从事高分子材料成型工艺、理论及复合材料研究 E-mail: hzm@dhu.edu.cn

收稿日期: 2019-07-25

引用格式: 张伟,胡祖明,于俊荣,等. 透明低介电耐高温 PMIA/PSA 复合薄膜制备与性能 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(10):7-12.

Zhang Wei, Hu Zuming, Yu Junrong, et al. Preparation and properties of transparent PMIA/PSA composite membranes with low dielectric and high temperature resistant[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(10):7-12.

容增加,发生信号容阻延迟效应问题,影响信号传输速度和信号损耗,这种延迟时间与层间绝缘材料的介电常数成正比,因此低介电常数和低介电损耗的聚酰亚胺材料能够很好地解决上述问题^[2-6],但聚酰亚胺薄膜成本过高,生产工艺条件苛刻,而通常工业生产中使用的聚酯电工绝缘薄膜无论是介电性能还是热力学性能都稍显逊色,使用价值十分受限^[7],因此,具备优良电性能、力学性能、高温下尺寸稳定的间位芳纶、芳纶纶有着广阔的市场前景和应用价值。

聚间苯二甲酰间苯二胺(PMIA,芳纶1313)具有良好的耐高温性、热稳定性、绝缘性、耐化学试剂和力学性能,被广泛应用于航空航天、军工、医疗器材、通讯、汽车等领域^[8-9]。而聚苯砒对苯二甲酰胺(PSA)作为我国自主研发的高性能纤维^[10],与间位芳纶(芳纶1313)有着许多相似之处,它的问世填补了我国耐250℃高温等级合成纤维的空白。作为电工绝缘材料,由间位芳纶纤维制备的间位芳纶绝缘纸展现出良好的应用前景^[11-12],但关于间位芳纶薄膜作为绝缘材料的研究与应用鲜见报道,而对芳砒纶的研究也仅仅局限在纤维领域中,对芳砒纶薄膜的研究少之又少。研究表明,PMIA薄膜的使用上限温度为145℃,达到B类绝缘材料的耐热等级,同时发现PMIA和PSA这两种非常相似的聚合物能够很好地进行互补,因此研究开发性能优异的低介电耐高温PMIA/PSA复合薄膜具有重要的市场应用价值。

针对以上情况,笔者通过刮涂法制备PMIA,PSA,PMIA/PSA薄膜,并对其微观形貌、热性能、力学性能、光学性能、介电常数、介电损耗、表面电阻率和体积电阻率分析。

1 实验部分

1.1 原材料

PMIA浆液:PMIA质量分数15.6%,相对分子质量 1.4×10^5 ,圣欧芳纶(江苏)股份有限公司;

PSA浆液:PSA质量分数15.5%,相对分子质量 1.2×10^5 ,上海特安纶有限公司;

N,N-二甲基乙酰胺(DMAC):分析纯,使用前用4A分子筛除水,上海凌峰化学试剂有限公司。

1.2 仪器及设备

可调节式涂膜器:KJ-KTTM型,东莞科健检测仪器有限公司;

测厚仪:CH-1-S型,上海三菱仪器厂;

扫描电子显微镜(SEM):SU8010型,日本日立

公司;

热重(TG)分析仪:TG209 F1 Iris型,德国Netzsch公司;

动态热机械分析(DMA)仪:DMA Q800型,美国TA公司;

差示扫描量热(DSC)仪:TAQ20型,美国TA公司;

宽频介电阻抗谱仪:Concept 40型,德国Novo Control公司;

高绝缘电阻测试仪:ZC90G型,上海迪一仪表有限公司;

微机控制电子万能试验机:C44.104型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

紫外-可见光谱仪:950 UV/vis型,铂金埃尔默(上海)有限公司。

1.3 试样制备

PMIA薄膜的制备^[13]:首先称取一定量PMIA浆液于三口烧瓶中,加入一定量的DMAC稀释到一定固含量,50℃下机械搅拌24 h后真空脱泡后待用。将一定量的PMIA浆液沿一定方向均匀地倒在玻璃板上,用可调节式刮膜器刮涂出400 μm的膜层,将其连同玻璃板一同放入100℃的恒温鼓风干燥箱中,48 h后取出自然冷却到室温,将其一同放入60℃的水浴恒温振荡器中水洗12 h后取出烘干即可。PSA薄膜与PMIA薄膜的制备方法类似。PMIA薄膜和PSA薄膜试样分别编号为1[#],6[#]。

PMIA/PSA薄膜的制备:制备方法与PMIA薄膜类似,通过控制浆液量,制得PMIA/PSA质量比分别为8/2,6/4,4/6,2/8的复合薄膜试样,分别编号为2[#],3[#],4[#],5[#]。

1.4 分析与测试

SEM观察:将薄膜裁剪后用环氧树脂包埋,100℃鼓风烘箱中固化后用液氮脆断,观察薄膜的断面形貌。

TG分析:氮气气氛,流量10 mL/min,升温速率10℃/min,温度范围150~800℃。

DMA测试:氮气气氛,升温速率5℃/min,温度范围50~400℃。

DSC分析:为消除样品热历史,先进行一次升降温,以20℃/min的速率从50℃升到350℃,恒温1 min后再以相同速率降到50℃。第二次升温速率为10℃/min,测试范围50~350℃,氮气气氛。

介电常数和介电损耗测试:频率范围 $10^2 \sim$

10^6 Hz, 常温测试。

表面电阻率和体积电阻率按照 GB/T 1410-2006 测试, 直流电压 100 V, 施加电压持续时间 1 min。

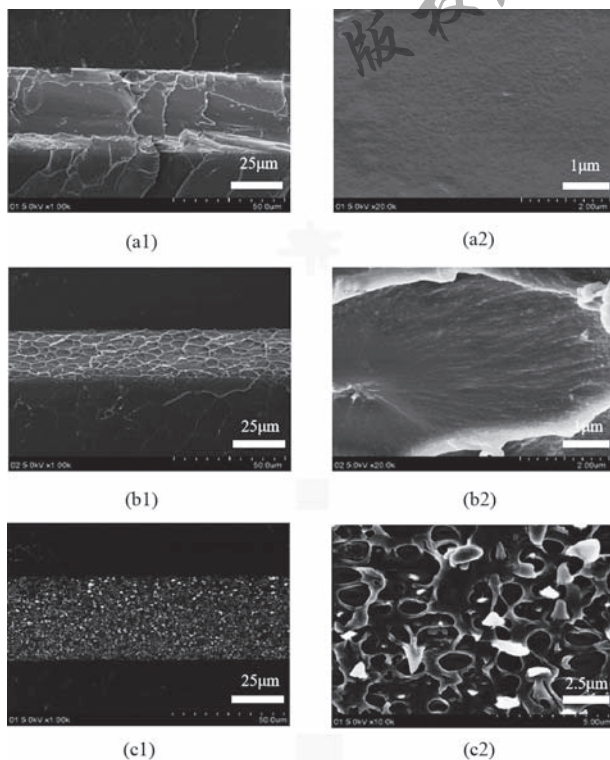
拉伸性能按 GB/T 1040.1-2006 测试, 将薄膜裁剪成 10 mm 宽的样条, 拉伸速率 5 mm/min。

紫外-可见近红外光谱分析: 以空气为参比, 扫描波长 300 ~ 800 nm。

2 结果与讨论

2.1 SEM 分析

图 1 为 PMIA, PSA 薄膜和 PMIA/PSA (2[#]) 复合薄膜的断面 SEM 照片。从 PMIA 薄膜断面照片可知, PMIA 薄膜被很好地包埋在环氧树脂基体中, 所制得的薄膜结构十分致密均匀, 没有任何孔洞结构。而 PSA 薄膜的断面形貌和 PMIA 薄膜完全不同, 虽然 PSA 薄膜也被包埋在环氧树脂基体中, 但 PSA 薄膜断面形貌为鳞片状, 鳞片大小均匀并沿一定方向排列。放大后观察发现, 鳞片状结构均匀、排列有序, 并且能够观察到每个鳞片结构中间有一个凹进去的白点, 可能是由于在溶剂挥发过程中应力集中导致。PMIA/PSA (2[#]) 复合薄膜的断面形貌不同于 PMIA 薄膜和 PSA 薄膜, 形貌结构为微米级的小孔



a1, a2—PMIA 薄膜; b1, b2—PSA 薄膜; c1, c2—PMIA/PSA (2[#]) 复合薄膜

图 1 不同薄膜的断面 SEM 照片

并且孔洞结构较为均匀, 可能是由于 PMIA 和 PSA 主体在溶剂挥发过程中, 两种高分子脱除溶剂的作用力不同导致出现了这样大小均匀的空洞结构, 而 PMIA/PSA 质量比为 6/4, 4/6, 2/8 时复合薄膜断面都不会出现这样均匀的空洞结构。

2.2 热性能分析

图 2 为不同薄膜的 DMA 曲线。从图 2 可观察到六种薄膜都有两个玻璃化转变温度 (T_g), PMIA 薄膜主峰在 290℃ 左右, 在 360℃ 附近有一个不太明显的峰。PSA 薄膜的主峰在 380℃ 左右, 在 320℃ 附近有一个不太明显的峰。四种复合薄膜的主峰都在相互靠近, 其中 2[#], 3[#] 薄膜受 PMIA 影响较大, 主峰位置分别在 300℃, 305℃ 左右; 4[#], 5[#] 薄膜受 PSA 影响较大, 主峰位置分别在 350℃, 360℃ 左右。同时也可以观察到 4[#], 5[#] 薄膜的另一个峰都在向左移动, 可以推断出这两种比例的复合薄膜中 PMIA 和 PSA 的相容性并不十分好, 而 2[#], 3[#] 这两种薄膜中 PMIA 和 PSA 具有一定的相容性。

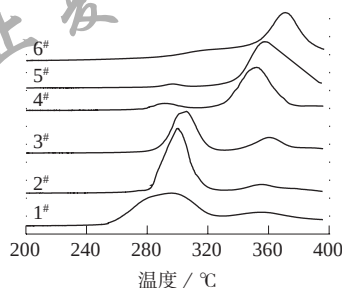


图 2 不同薄膜的 DMA 曲线

图 3 为不同薄膜的 DSC 曲线。图 3 中箭头标出的位置为六种薄膜的 T_g , 可以看出四种复合薄膜只有一个 T_g , 介于 PMIA 和 PSA 两者之间^[14], 并且随着 PSA 含量的增加而增大。表明四种复合薄膜中 PMIA 和 PSA 的相容性良好, 与 DMA 的测试结果有着部分相似之处, 在以往的研究中也会发现 DMA 测试的 T_g 会比 DSC 测试出的 T_g 高, 但两种测试结果是趋于一致的。

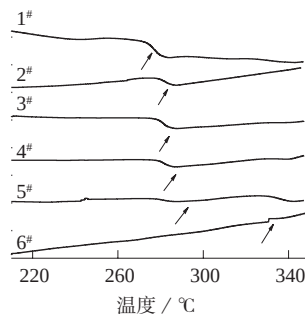


图 3 不同薄膜的 DSC 曲线

图4为不同薄膜的TG曲线。由图4可知, PMIA薄膜的热分解温度为 468.8°C ^[14], 2[#], 3[#], 4[#], 5[#]的分解温度为 $475.4, 480, 482.6, 491.7^{\circ}\text{C}$, PSA薄膜的热分解温度为 506.3°C 。可以看出, 随着PSA含量增加, 薄膜的热分解温度随之增加, 热稳定性有着明显提高。

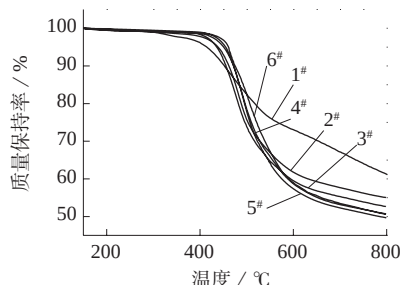


图4 不同薄膜的TG曲线

2.3 力学性能分析

图5为不同薄膜的应力-应变测试曲线。PMIA薄膜的拉伸强度最高^[16], 达到120 MPa, 但是测试结果为脆性断裂, 并没有发生屈服, 断裂伸长率也非常低。不同的是, PSA薄膜尽管拉伸强度低于PMIA薄膜, 不到80 MPa, 但PSA薄膜在拉伸过程中发生了屈服, 断裂伸长率也非常高。复合薄膜的断裂伸长率相比PMIA薄膜来说有着很大的提高, 断裂功(又称断裂能, 其值等于应力-应变曲线所包含的面积 $\times$ 试件的特征长度)都远远大于PMIA薄膜, 并且在拉伸过程中都发生了明显的屈服, 其中2[#]薄膜的断裂功在六种薄膜中最大。从力学性能来看, 2[#]薄膜的力学性能最好, 拉伸强度为87 MPa; 断裂伸长率达到66.7%, 比PMIA薄膜提高了451%, 比PSA薄膜提高了39.2%。

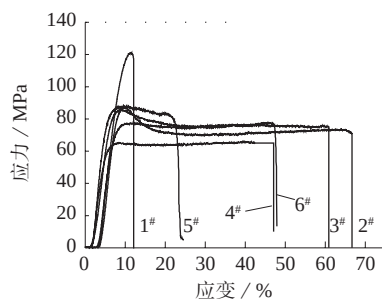


图5 不同薄膜的应力-应变测试曲线

2.4 光学性能分析

图6为不同薄膜的紫外-可见近红外透过率。PSA薄膜在400 nm附近有一个比较强的吸收, 而PMIA薄膜在400 nm处的吸收较弱^[14], PMIA薄膜在300~800 nm范围内光学透过率最低。在400

~800 nm范围内, 六种薄膜的光学透过率都接近90%, 光学性能良好^[17-18]。

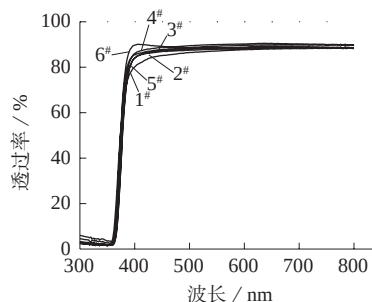


图6 不同薄膜的紫外-可见近红外透过率

2.5 介电性能分析

图7、图8为制备的六种薄膜及商品化聚酰亚胺薄膜Kapton的介电常数和介电损耗。由图7可知, PMIA薄膜的介电常数最高并随着频率的增加逐渐降低^[16], 介电常数在2.5~2.7; PSA薄膜的介电常数在高频段接近2.0, 介电常数最低。在微电子领域为提高信号的传输速度, 必须将层间绝缘材料的介电常数降低至2.0~2.5, 可看出四种复合薄膜都能满足层间绝缘材料的使用要求。而商品化聚酰亚胺薄膜Kapton的介电常数在3.2左右, 和文献报道的范围一致^[17], 却难以满足层间绝缘材料的要求。由图8可知, Kapton的介电损耗最小, 其余六种薄膜

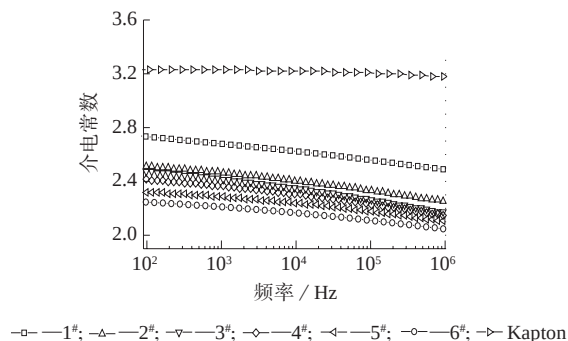


图7 不同薄膜的介电常数

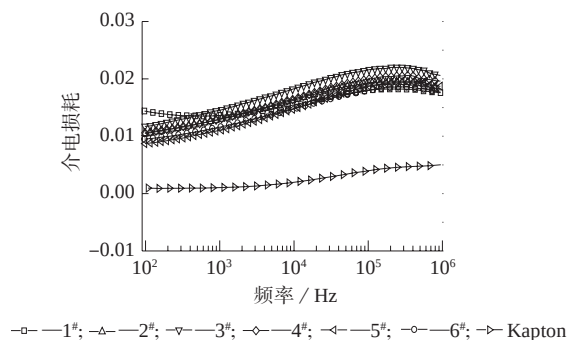
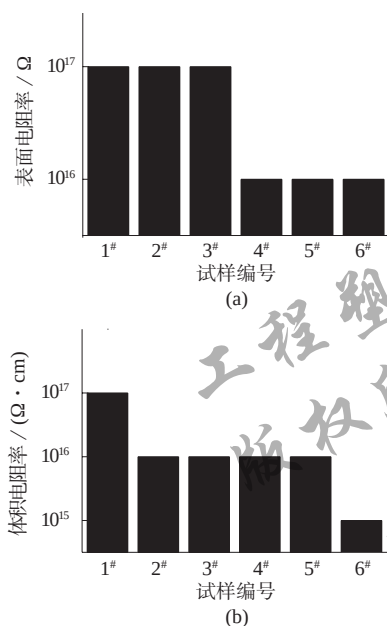


图8 不同薄膜的介电损耗

的介电损耗介于 0.01 ~ 0.02, 都满足电子封装领域对绝缘介质薄膜的使用要求。

2.6 表面电阻率和体积电阻率分析

表面电阻率和体积电阻率是反映绝缘材料绝缘性的一项重要指标, 图 9 为不同薄膜的表面电阻率和体积电阻率测试结果。由图 9 可知, PMIA 的表面电阻率和体积电阻率最高, 表面电阻率达到了 $10^{17} \Omega$, 体积电阻率达到了 $10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$, 绝缘性能优良。而 PSA 薄膜的表面电阻率为 $10^{16} \Omega$, 体积电阻率为 $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$, 均小于 PMIA 薄膜。四种薄膜的表面电阻率和体积电阻率介于 PMIA 和 PSA 薄膜之间, 随着 PSA 含量的增加, 薄膜的表面电阻率和体积电阻率降低, 绝缘性能稍有下降。



a—表面电阻率; b—体积电阻率

图 9 不同薄膜的表面电阻率和体积电阻率

3 结论

(1) 利用刮涂法制备了 PMIA, PSA 薄膜及 PMIA/PSA 复合薄膜, 通过紫外-可见近红外测试证明这六种薄膜都具有良好的光学透明性, 透过率都接近 90%。

(2) SEM 测试发现, PMIA/PSA 质量比 8/2 时相容性良好, 而其余三种复合薄膜相容性较差, 发生了明显的相分离。

(3) 力学性能测试发现, PMIA/PSA 质量比 8/2 时薄膜的力学性能最好, 断裂伸长率大大提高, 断裂功最大, 远远优于 PMIA 和 PSA 薄膜。

(4) DMA 和 DSC 测试证明, 四种复合薄膜中 PMIA 与 PSA 具有一定的相容性。热重分析测试

表明, 随着 PSA 含量的增加热分解温度提高, 热稳定性提高, 满足耐高温材料的要求。

(5) 介电常数测试发现, PMIA/PSA 质量比 8/2 时薄膜的介电常数和介电损耗满足电子封装领域的使用要求。

(6) 表面电阻率和体积电阻率测试表明, 这六种薄膜的绝缘性能良好, 在绝缘材料领域可获得广泛的应用。

参考文献

- [1] Liaw D J, Wang K L, Huang Y C, et al. Advanced polyimide materials: Syntheses, physical properties and applications[J]. Progress in Polymer Science, 2012, 37(7): 907-974.
- [2] Zhan Y Q, Ren Y, Wan X Y, et al. Dielectric thermally conductive and stable poly(arylene ether nitrile) composites filled with silver nanoparticles decorated hexagonal boron nitride[J]. Ceramics International, 2018, 44(2): 2021-2029.
- [3] 杨大令, 韩晓倩, 王立久. 低介电常数聚酰亚胺基多孔复合材料的研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2016, 34(5): 843-847, 829. Yang Daling, Han Xiaolian, Wang Lijiu. Research progress of low dielectric constant polyimide-based porous composites[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2016, 34(5): 843-847, 829.
- [4] 贝润鑫, 陈文欣, 张艺, 等. 低介电常数聚酰亚胺薄膜的研究进展[J]. 绝缘材料, 2016, 49(8): 1-11. Bei Runxin, Chen Wenxin, Zhang Yi, et al. Research progress of low dielectric constant polyimide film[J]. Insulation Materials, 2016, 49(8): 1-11.
- [5] 张明艳, 程同磊, 高升, 等. 微电子工业用低介电聚酰亚胺薄膜研究进展[J]. 绝缘材料, 2016, 49(6): 7-11. Zhang Mingyan, Cheng Tonglei, Gao Sheng, et al. Research progress of low dielectric polyimide film for microelectronics industry[J]. Insulation Materials, 2016, 49(6): 7-11.
- [6] 任小龙, 汪英, 冯俊杰. 低介电常数聚酰亚胺薄膜研究进展[J]. 中国塑料, 2015, 29(8): 17-24. Ren Xiaolong, Wang Ying, Feng Junjie. Research progress in low dielectric constant polyimide films[J]. China Plastics, 2015, 29(8): 17-24.
- [7] 屠幼萍, 孙伟忠, 岳彩鹏, 等. 固体绝缘材料热老化电气特性的研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 7-13. Tu Youping, Sun Weizhong, Yue Caipeng, et al. Study on the electrical characteristics of thermal insulation of solid insulation materials[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 7-13.
- [8] 宋翠艳, 宋西全, 邓召良. 间位芳纶的技术现状和发展方向[J]. 纺织学报, 2012, 33(6): 125-128, 135. Song Cuiyan, Song Xiquan, Deng Zhaoliang. Technical status and development direction of meta-aramid[J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(6): 125-128, 135.

- [9] 费有静,裴小兵. 论芳纶纤维的应用与发展趋势[J]. 新材料产业, 2019(4):35-38.
Fei Youjing, Pei Xiaobing. On the application and development trend of aramid fiber[J]. New Materials Industry, 2019(4):35-38.
- [10] 韩非,余弘,李卫东,等. 近期芳纶纤维的应用研究进展[J]. 纺织技术, 2017, 45(12):81-84.
Han Fei, Yu Hong, Li Weidong, et al. Recent research progress in the application of polysulfonamide[J]. Cotton Textile Technology, 2017, 45(12):81-84.
- [11] 罗艳芝,汪洋,李立南,等. 间位芳纶绝缘纸的温度指数研究[J]. 冶金与材料, 2019, 39(3):46, 48.
Luo Yanzhi, Wang Yang, Li Linan, et al. Temperature index of meta-aramid insulating paper[J]. Metallurgy and Materials, 2019, 39(3):46, 48.
- [12] 廖瑞金,李萧,杨丽君,等. 间位芳纶短切纤维/浆粕的配比对比对芳纶绝缘纸性能的影响[J]. 高电压技术, 2015, 41(2):364-373.
Liao Ruijin, Li Xiao, Yang Lijun, et al. Effect of the ratio of meta-aramid chopped fiber/pulp on the properties of aramid insulation paper[J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(2):364-373.
- [13] 高元元,李静,胡祖明,等. PMIA/蒙脱土纳米复合薄膜的制备与性能研究[J]. 合成纤维工业, 2018, 41(2):16-21.
Gao Yuanyuan, Li Jing, Hu Zuming, et al. Preparation and properties of PMIA / montmorillonite nanocomposite films[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2018, 41(2):16-21.
- [14] Li N, Zhang X K, Yu J R, et al. Synthesis and characterization of easily colored meta-aramid copolymer containing ether bonds[J]. Chinese Journal of Polymer Science, 2019, 37(3), 227-234.
- [15] Yin F, Tang C, Tang Y J, et al. Reactive molecular dynamics study of effects of small-molecule organic acids on PMIA thermal decomposition[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2018, 122 (45):10 384-10 392.
- [16] Duan G, Wang Y, Yu J R, et al. Improved thermal conductivity and dielectric properties of flexible PMIA composites with modified micro-and nano-sized hexagonal boron nitride[J]. Frontiers of Materials Science 2019, 13(1):64-76.
- [17] Kim Y, Chang J H. Colorless and transparent polyimide nanocomposites:Thermo-optical properties, morphology, and gas permeation[J]. Macromolecular Research, 2013, 21(2):228-233.
- [18] Moon K H, Chae B, Kim K S, et al. Preparation and characterization of transparent polyimide-silica composite films using polyimide with carboxylic acid groups[J]. Polymers, 2019, 11(3):10.

欢迎订阅 2020 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘,请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物,月刊,大 16 开本,每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,荣获首届、第二届、第三届全国期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2020 年定价 20 元/期,全年 240 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物,双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊,荣获多项省部级优秀期刊奖,入选美国化学文摘(CA)千种表。2020 年定价 20 元/期,全年 120 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存,如需订阅,请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2018 年底共 46 卷 350 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售;同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2018 年底

共 27 卷 127 期的期刊电子化,并制成合订本光盘,现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文,又可根据读者自定义的关键词进行全文检索,非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 260 元。

邮局汇款:

收款地址:济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款:

户 名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

账 号:1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>