

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.05.004

衬底对聚偏氟乙烯-三氟乙烯基纳米能量发生器压电性能的影响

刘茜,李洁,方兆舟,舒落生,李迎春

(中北大学材料科学与工程学院,太原 030051)

摘要:采用旋涂工艺制备了聚偏氟乙烯-三氟乙烯(PVDF-TrFE)薄膜,在此基础上设计并制备了不同衬底的“三明治”式柔性纳米能量发生器。傅里叶变换红外光谱测试结果表明 PVDF-TrFE 薄膜 β 相含量为 16.14%,准静态压电应变常数 d_{33} 测试结果显示其 d_{33} 值为 10.1 pC/N。分别采用玻璃、聚萘二甲酸乙二酯(PEN)和聚对苯二甲酸乙二酯(PET)作为衬底材料,研究其对能量发生器压电性能的影响。结果表明,在 KDL-02/02L 冲击锤作用下具有最低拉伸弹性模量的 PET 衬底纳米能量发生器显示出最高的电压输出(2.13 V),此外在 12 Hz 激励下, PET 衬底纳米能量发生器产生最高的压电电压(1.01 V)。在多达 1000 次的不断机械振动下, PET 衬底纳米能量发生器显示出优良的电学稳定性和机械稳定性。

关键词:聚偏氟乙烯-三氟乙烯;纳米能量发生器;压电;衬底

中图分类号: TQ320.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)05-0017-06

Effects of Substrate on Piezoelectricity of Poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) based Nano Energy Generators

Liu Xi, Li Jie, Fang Zhaozhou, Shu Luosheng, Li Yingchun

(School of Materials Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract : Poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) (PVDF-TrFE) film were prepared by spin-coating method, on this basis, sandwich-type flexible nano energy generators with various substrates were designed and prepared. Fourier transform infrared spectroscopy testing result shows that the β phase content of the PVDF-TrFE film is 16.14%, and quasi-static piezoelectric strain constant d_{33} testing result shows that the d_{33} value of PVDF-TrFE film is 10.1 pC/N. Slide glass, poly(ethylene naphthalate) (PEN) and poly(ethylene terephthalate) (PET) were selected as substrates and their effects on the piezoelectricity of the energy generators were investigated. The results indicates that nano energy generator with PET substrate possessing the lowest tensile elastic modulus shows the highest voltage output (2.13 V) under KDL-02/02L impact hammer. In addition, the nano energy generator with PET substrate produces the highest piezoelectric voltage (1.01 V) at 12 Hz of frequency by means of an Izod exciter. Along with superior electrical properties, the nano energy generator with PET substrate also exhibits excellent electrical stability as well as mechanical stability after 1 000 cycles of continuous mechanical vibration testing.

Keywords : poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) ; nano energy generator ; piezoelectric property ; substrate

近年来,可充电电源和可再生能源引起了人们的极大关注,这是因为人们越来越担心过度消耗能源会导致化石燃料的枯竭和污染。研究表明,通过使用纳米材料将各种能量(例如太阳能,风能,热能,潮汐能等)转换为电能已经成为了现实^[1-4]。与其它可再生能源相比,机械振动能源的来源更为丰富,人们可以利用压电式纳米能量发生器将环境中

的机械能转变为电能来驱动便携式电子设备或为其充电^[5],这样一方面可以节约能源资源,另一方面又能有效地避免传统化石燃料带来的环境污染问题。

自从 2006 年,王中林等^[6]研制的纳米能量发生器问世以来,人们逐渐将注意力转移到可将机械能、风能等转换为电能的压电式纳米能量发生器上。压电式纳米能量发生器由于机械应力作用将会引起

基金项目: 山西省国际科技合作项目 (201703D421007)

通讯作者: 李洁,副教授,主要从事先进光电功能材料研究 E-mail : ajiestar@nuc.edu.cn

收稿日期: 2020-02-22

引用格式: 刘茜,李洁,方兆舟,等. 衬底对聚偏氟乙烯-三氟乙烯基纳米能量发生器压电性能的影响[J]. 工程塑料应用,2020,48(5): 17-22.

Liu Xi, Li Jie, Fang Zhaozhou, et al. Effects of substrate on piezoelectricity of poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) based nano energy generators[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(5): 17-22.

微结构变形从而产生偶极矩,该偶极矩会在发电机的两端产生电位差。在所有高分子聚合物中,聚偏氟乙烯(PVDF)是一种优良的压电材料,PVDF被用作可穿戴/植入式压电换能器中的芯材,因为它轻巧、灵活并具有良好的延展性、可拉伸性和生物相容性^[7-10]。然而PVDF薄膜的压电性具有一定的局限性,其家族材料聚偏氟乙烯-三氟乙烯(PVDF-TrFE)因其独特的结构更容易形成高结晶度压电相 β 相,与传统的PVDF材料相比,具有较大的动态范围和较高的力电转换灵敏度,同时该薄膜具有一定的压电性能,在机械振动条件下可以产生可观的压电势。

除了压电核心功能层,衬底是纳米能量发生器的重要组成部分,其质量约占发生器质量的90%以上。近年来,柔性可穿戴技术以及复杂曲面等工况条件对纳米发电机提出了更高的要求,因此柔性衬底的选择及优化引起了人们的重视。研究表明,成本低、成型快、易于商品化的有机塑料衬底是纳米发电机的较佳选择。当柔性衬底材料表面发生形变时会引起压电材料内部发生一定的拉伸或压缩应变,从而在压电材料表面产生压电电势。目前聚萘二甲酸乙二酯(PEN),聚对苯二甲酸乙二酯(PET)等是制造柔性纳米发电机时最为常用的一类衬底基材,由其制成的衬底薄膜具有轻便、柔性、透明等特点。

笔者利用旋涂工艺制备PVDF-TrFE薄膜,通过扫描电子显微镜(SEM)、傅里叶变换红外光谱(FTIR)、广角X射线衍射(WAXD)和准静态压电应变常数 d_{33} 的测试对其结构和性能进行表征。在此基础上设计了“三明治”式柔性纳米能量发生器,研究各种基材的衬底对PVDF-TrFE能量发生器压电性能的影响,为此装置在可穿戴式电子设备上的应用提供可能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PVDF-TrFE:分子量12万,偏氟乙烯/三氟乙烯物质的量之比为80/20,北京爱普思隆科技有限公司;

N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、无水乙醇、异丙醇:分析纯,天津大茂化工有限公司;

丙酮:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

聚(3,4-乙撑二氧噻吩):聚苯乙烯磺酸(PEDOT:PSS):电导率600~700 S/cm,上海欧依有机光电材料有限公司;

氧化铟锡(ITO)-PEN, ITO-PET, ITO-导电玻璃:ITO表面方阻为6~8 Ω ,厚度为0.125 mm,深圳华南湘城科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S型,天津泰斯特仪器有限公司;

台式匀胶仪:KW-4A型,中国科学院微电子研究所;

真空干燥箱:DZ-1BC II型,南京福能机械设备有限公司;

FTIR仪:Bruker tensor 27型,德国布鲁克科技有限公司;

WAXD仪:D/max-rB型,日本理学株式会社;

SEM:JSM-6510型,日本电子株式会社;

准静态 d_{33} 测试仪:ZJ-3AN型,中国科学院声学研究所;

数字存储示波器:ISDS205B型,常州乐琪电子科技有限公司。

1.3 PVDF-TrFE薄膜的制备

将1.5 g PVDF-TrFE白色絮状物加入5 mL DMF,在室温25℃条件下磁力搅拌60 min,之后在0.09 MPa真空中静置30 min以除去气泡,最终得到淡黄粘稠状澄清溶液。将ITO-PET导电电极裁剪成3 cm×3 cm,分别用去离子水、丙酮、异丙醇对ITO电极清洗30 min,放入60℃的烘箱中干燥过夜。使用注射器吸取上述溶液0.3 mL到ITO电极中央,打开台式匀胶仪的真空泵使其固定,I档转速500 r/min,旋涂时间18 s,II档转速2000 r/min,旋涂时间60 s,重复上述操作3次,得到旋涂层数为3的薄膜。之后将有ITO-PET的压电薄膜置于真空干燥箱中140℃退火1 h。

通过同样的方法将PVDF-TrFE薄膜旋涂置于ITO-玻璃、ITO-PEN衬底上。

1.4 不同衬底压电式能量发生器的制备

通过旋涂PEDOT:PSS导电液作为上电极,吸取0.2 mL PEDOT:PSS导电液置于带有三种衬底的PVDF-TrFE薄膜中央,旋涂转速为2000 r/min,旋涂时间60 s;将带有PEDOT:PSS上电极的PVDF-TrFE薄膜置于烘箱,升温至120℃,恒温退火30 min,形成类似于“三明治”的夹心结构的纳米能量发生器,并用铜胶带把导线从ITO下电极与PEDOT:PSS上电极引出,作为两端电极;最终用透明胶进行封装,以便连接电路进行压电输出测试。

制得的压电式能量发生器结构示意图如图 1 所示,该器件结构分 3 部分:下部分是 ITO 及其衬底,中间是 PVDF-TrFE 薄膜,上部分为 PEDOT:PSS 电极。

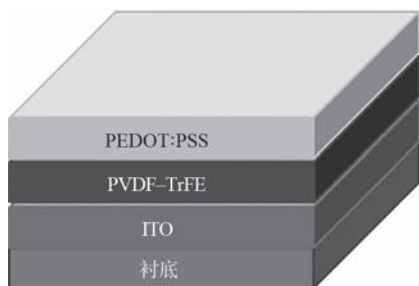


图 1 压电式纳米能量发生器结构示意图

1.5 性能测试

FTIR 测试: 将 PVDF-TrFE 压电薄膜真空干燥后研碎,使用 KBr 压片,测试范围 $500 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$,分辨率 4 cm^{-1} ,扫描时间 32 s,使用 Lambert-Beer 定律计算 PVDF-TrFE 薄膜中的 β 相含量。

$$F(\beta) = \frac{A_{\beta}}{\left(\frac{K_{\beta}}{K_{\alpha}}\right)A_{\alpha} + A_{\beta}} \quad (1)$$

式 (1) 中, $F(\beta)$ 为 β 相含量, A_{α} 和 A_{β} 分别代表的是 880 cm^{-1} 和 840 cm^{-1} 处的吸收峰强度, $K_{\beta}=7.7 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{mol}$ (840 cm^{-1} 处的吸收系数), $K_{\alpha}=6.1 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{mol}$ (880 cm^{-1} 处的吸收系数) [11]。

WAXR 测试: 利用 WAXR 仪对 PVDF-TrFE 薄膜进行测试, Cu 靶, 测试角度 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。

SEM 测试: 将 PVDF-TrFE 薄膜表面喷金后用 SEM 观察表面形貌; 将 PVDF-TrFE 薄膜置于液氮中淬断, 喷金后用 SEM 观察断面形貌。

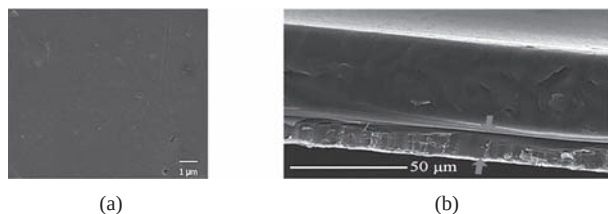
压电应变常数 d_{33} 测试: 将 PVDF-TrFE 薄膜从衬底揭下来, 裁剪成 $0.5 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm}$ 的大小后放在已经校准好的准静态 d_{33} 测试仪上方, 测量频率 100 Hz , 力的大小为 0.25 N , 缓慢旋转待开始震动后松手, 等待数据稳定后记录数据, 记录 15 组数据, 计算平均值。

压电输出测试: 制备尺寸为 $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$, 不同衬底的能量发生器器件备用。在室温 25°C 环境利用 KDL-02 / 02L 冲击锤, 辅助器件完成冲击运动, 同时利用数字存储示波器对能量发生器的电信号输出做实时记录, 每个样品 3 次; 其次利用激励器使能量发生器产生不同频率振动能量, 收集相应电信号进行记录; 最后通过振动能量收集实验对能量发生器进行 1000 次连续不间断的耐疲劳性的检测, 振动实验过程中激励信号为 12 Hz 。

2 结果与讨论

2.1 PVDF-TrFE 薄膜表征

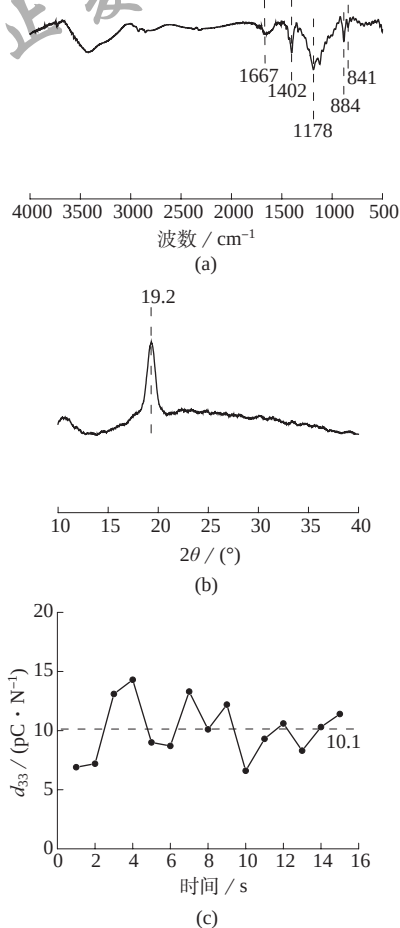
图 2 为 PVDF-TrFE 薄膜的表面和断面照片。从图 2a 可以看出, 通过旋涂法制备的薄膜表面虽然存在少许缺陷, 但是整个薄膜表面比较平整与致密。从图 2b 可以看出该旋涂工艺所制备的薄膜的厚度为 $22 \mu\text{m}$ 。



a—表面; b—断面

图 2 PVDF-TrFE 薄膜的表面和断面 SEM 照片

图 3 为 PVDF-TrFE 薄膜的 FTIR, WAXD 谱图以及压电应变常数 d_{33} 值测试数据。由图 3a 看出, $500 \sim 2000 \text{ cm}^{-1}$ 的谱带属于官能团区, 特征基团与吸收峰为——对应的关系。其中 841 cm^{-1} 处



a—FTIR 谱图; b—WAXD 谱图; c— d_{33} 值测试数据分布图

图 3 PVDF-TrFE 薄膜的 FTIR, WAXD 谱图及 d_{33} 值测试数据

为 PVDF-TrFE 薄膜中铁电相 β 相的 CF_2 和 $\text{C}-\text{C}$ 键的对称伸缩振动吸收峰; 884 cm^{-1} 频段的吸收峰为 $\text{C}-\text{C}$ 骨架摇摆振动峰; 1178 cm^{-1} 处属于 CF_2 的伸缩振动。此外 1402 cm^{-1} 也属于铁电相 β 相的特征峰; 特征峰 1667 cm^{-1} 所对应的是 $\text{C}=\text{C}$ 键的伸缩振动峰。通过 Lambert-Beer 定律计算 PVDF-TrFE 薄膜中的 β 相含量为 16.14%^[11]。PVDF-TrFE 中存在着五种晶型, 分别为 α 相、 β 相、 γ 相、 δ 相以及 ε 相^[12-13], 其中最稳定的状态为 α 相结构, 然而只有当 β 相含量过高时, 该共聚物才会表现出比较优异的压电性能与铁电性能, 因此提高 β 相结构含量获得了人们广泛的关注。

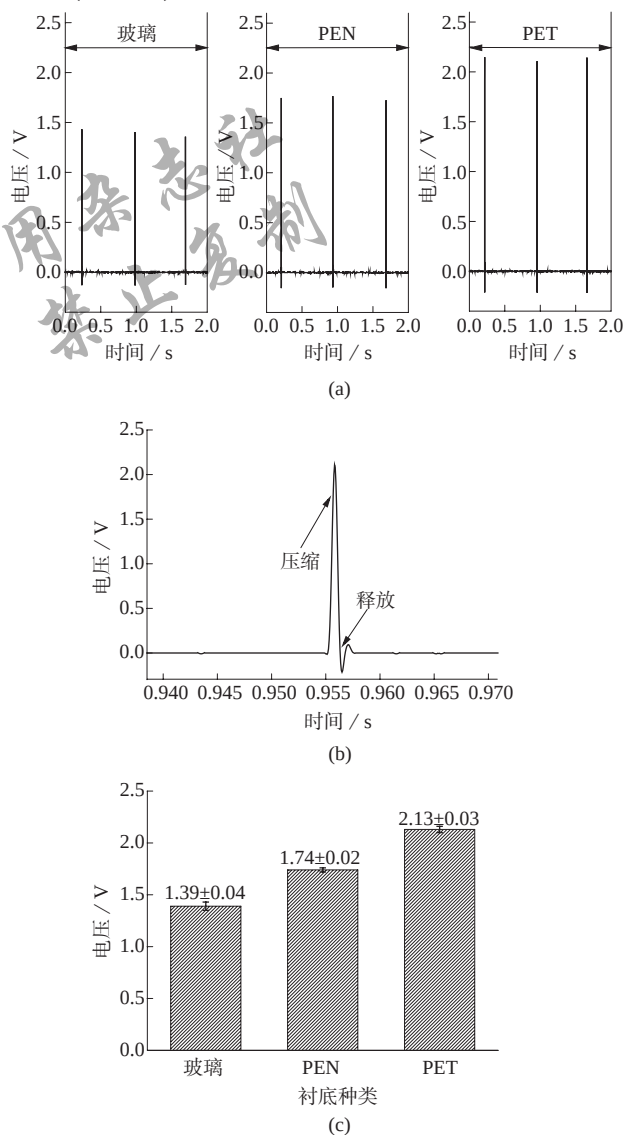
通过 WAXD 测试对 PVDF-TrFE 薄膜的结晶性能进行表征, 结果如图 3b 所示。图中 19.2° 处的衍射峰为 PVDF-TrFE 薄膜 β 相结晶的 (110) 晶面衍射, 说明通过旋涂工艺制备的 PVDF-TrFE 薄膜中大部分晶相为 β 相结构。

压电应变常数 d_{33} 是反映压电材料性能的重要参数, 通过使用准静态 d_{33} 测试仪对所制备 PVDF-TrFE 薄膜的 d_{33} 值进行测试, 结果如图 3c 所示。通过对所测量的 15 组数据计算平均值, 可以得出 PVDF-TrFE 薄膜的 d_{33} 为 10.1 pC/N 。根据 PVDF-TrFE 薄膜是依靠 β 相产生压电性能的理论, 通过上述对 PVDF-TrFE 薄膜的性能表征可以得出通过旋涂工艺所制备的 PVDF-TrFE 薄膜具有一定的压电性能。

2.2 不同衬底能量发生器压电性能表征

在得到性能较优的压电薄膜后, 对压电薄膜与不同衬底材料组成的“三明治”器件的压电性能进行了表征。衬底材料的刚度对纳米能量发生器变形的影响最大, 在相同载荷下拉伸弹性模量较低的材料将显示较大的变形, 衬底变形得越多, 其输出电压就越高。拉伸弹性模量是评价材料刚度的重要量度, 此次实验所使用的衬底材料的拉伸弹性模量如下: 玻璃 73 GPa ^[14], PEN $5\sim 5.5\text{ GPa}$ ^[15], PET 3.5 GPa ^[16]。首先是通过 KDL-02/02L 冲击锤撞击不同衬底的能量发生器从而得到对应的电压-时间曲线, 如图 4 所示, 主要研究的是不同衬底对纳米能量发生器压电输出的影响。该测试中每个锤头的压力是固定值, 为 19 N , 灵敏度为 4 pC/mV 。衬底在冲击力作用下发生机械振动, 将振动传递到 PVDF-TrFE 薄膜从而使其振动。在旋涂工艺中, PVDF-TrFE 大分子链段在离心力的作用下发生取

向排列, 取向的链段在退火过程中促进了结晶, 提高了薄膜的压电性能。同时, 由冲击力撞击下驱动的机械振动会激发 PVDF-TrFE 薄膜的压电模式, 从而产生正弦输出电压。图 4a 的压电输出曲线显示了各种衬底对该能量发生器压电性能的影响, 可以发现从玻璃到 PEN 衬底到 PET 衬底, 输出电压逐渐增加。图 4b 是压电电压输出信号的放大视图, 其显示了在冲击锤撞击能量收集器时压缩和释放过程的单个信号。从图 4c 可知具有较低拉伸弹性模量 PET 衬底的能量发生器输出电压的平均值为 2.13 V , 相比玻璃衬底 (1.39 V) 高 53.2%, 比 PEN 衬底 (1.74 V) 高 22.4%。



a—不同衬底能量发生器开路电压-时间图;

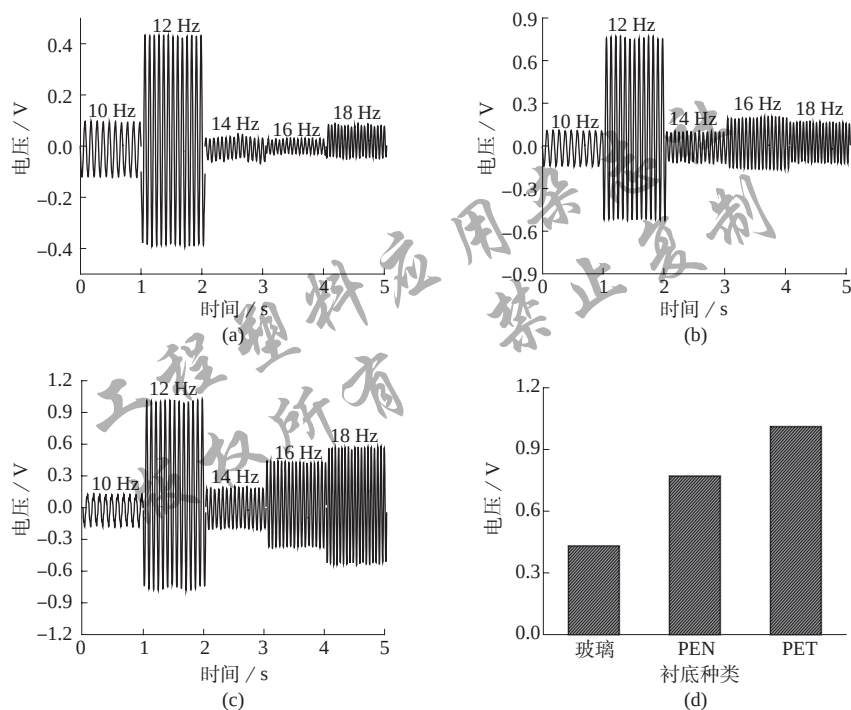
b—输出信号的局部放大图;

c—不同衬底能量发生器开路电压输出值

图4 KDL-02/02L 冲击锤撞击下不同衬底能量发生器的压电性能

由于大自然界中机械能表现形式是多种多样的,在实际应用中,周围环境机械能变化很大,外部激励频率不规则,需要研究不同衬底能量发生器的压电输出性能与不同频率之间的关系。因此通过振动能量收集实验进一步表征不同种类衬底材料对该“三明治”器件压电输出的影响,通过信号发生器产生频率可调的正弦函数信号,由功率放大器放大后输入激励器,通过激励器产生振动频率,激励器使能量发生器振动,产生电荷信号,由示波器显示出来。图 5a~图 5c 为分别在 10,12,14,16,18 Hz 振动激励条件下,不同纳米能量发生器表现出不同的压电输出情况。分析可知,纳米能量发生器的压电输出

不仅与外部环境激励的振动频率有关而且受衬底材料的影响较大。这是因为不同衬底材料在机械振动的条件下,会产生不同的变形,在纳米发生器上产生不同的压电电势,从而影响发生器的压电性能。同时纳米发生器输出压电电压在 12 Hz 时变为最大值,这可能是由于电压的增加和被测系统中更好的阻抗匹配所致。然而在较高频率下,可能会限制纳米发生器恢复到其原始状态,并且系统的阻抗可能会失配,从而导致输出电压降低。图 5d 显示在最佳振动频率 12 Hz 条件下,具有最低拉伸弹性模量 PET 衬底的能量发生器相比其它两种衬底材料产生较高的压电信号,其产生的压电电压为 1.01 V。



a—玻璃衬底; b—PEN 衬底; c—PET 衬底; d—12 Hz 振动下不同衬底能量发生器的最大电压输出值

图 5 不同振动频率下不同衬底能量发生器开路电压-时间图及最大电压输出值

2.3 纳米能量发生器的稳定性研究

优异的灵敏度和良好的耐疲劳性是能量发生器能够实现实际应用的前提条件,同时可靠的稳定性是能量发生器能够正常使用的标准。因此,最终对 PET 衬底的能量发生器的稳定性进行了研究。在以激励器产生 12 Hz 振动下,对该能量发生器进行了连续不间断 1000 次振动循环实验,测试器件的输出压电电压信号,如图 6 所示。从图 6 可知在长达 1000 次循环后该能量发生器输出电压维持在 1.01 V,压电信号未出现明显衰减趋势。此次结果表明,这种柔性的纳米能量发生器具有优异的电学稳定性和机械稳定性,为压电式纳米能量发生器的

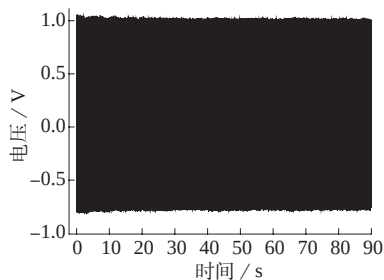


图 6 纳米能量发生器稳定性测试

实际应用提供了基础。

3 结论

(1) 通过简单的旋涂工艺成功制备出 PVDF-TrFE 压电薄膜并制备出“三明治”式柔性纳米能量

发生器。在机械振动的条件下,PVDF-TrFE 压电薄膜表面可产生压电电势。

(2) 研究了不同种类衬底对于 PVDF-TrFE 能量发生器压电性能的影响,发现相比于其它衬底材料,具有最低拉伸弹性模量的 PET 衬底能量发生器显示出最高的电压输出。

(3) PET 衬底能量发生器在耐疲劳测试中展现出优良的电学稳定性和机械稳定性,为可穿戴电子设备领域提供了潜在应用。

参考文献

- [1] Mitchard E T A. The tropical forest carbon cycle and climate change[J]. *Nature*, 2018, 559(7715):527-534.
- [2] Patra A, Pal A, Sen S. Polyvinylpyrrolidone modified barium zirconate titanate / polyvinylidene fluoride nanocomposites as self-powered sensor[J]. *Ceramics International*, 2018, 44(10):11 196-11 203.
- [3] 骆懿,于洋,廖家明,等. 高压静电纺丝工艺制备 PVDF-ZnO/GR 共聚物膜的压电性能研究 [J]. *传感技术学报*, 2019, 32(6):815-821.
- Luo Yi, Yu Yang, Liao Jiaming, et al. Piezoelectric properties of PVDF-ZnO / GR copolymer films prepared by high voltage electrospinning[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2019, 32(6):815-821.
- [4] Karan S K, Maiti S, Agrawal A K, et al. Designing high energy conversion efficient bio-inspired vitamin assisted single-structured based self-powered piezoelectric / wind / acoustic multi-energy harvester with remarkable power density[J]. *Nano Energy*, 2019, 59:169-183.
- [5] Thakur P, Kool A, Hoque N A, et al. Superior performances of in situ synthesized ZnO / PVDF thin film based self-poled piezoelectric nanogenerator and self-charged photo-power bank with high durability[J]. *Nano Energy*, 2017, 44:456-467.
- [6] Wang Z L, Song J H. Piezoelectric nanogenerators based on zinc oxide nanowire arrays[J]. *Science*, 2006, 312(5 771):242-246.
- [7] Singh D, Choudhary A, Garg A. Flexible and robust piezoelectric polymer nanocomposites based energy harvesters[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, 10(3):2 793-2 800.
- [8] 张帅,黄涛,丁古巧,等. 水诱导相分离法制备的 PVDF 柔性压电传感器 [J]. *传感技术学报*, 2019, 32(8):1 130-1 135.
- Zhang Shuai, Huang Tao, Ding Guqiao, et al. Water induced phase-separation method for PVDF based piezoelectric flexible sensor devices[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2019, 32(8):1 130-1 135.
- [9] Jiang Lingqing, Xie Haian, Hou Yan, et al. Enhanced piezoelectricity of a PVDF-based nanocomposite utilizing high-yield dispersions of exfoliated few-layer MoS₂[J]. *Ceramics International*, 2019, 45(9):11 347-11 352.
- [10] 郭雪培,侯晓娟,杨玉华,等. 基于 PVDF-TrFE 薄膜的柔性自供电传感器 [J]. *仪器仪表学报*, 2018, 39(7):42-48.
- Guo Xuepei, Hou Xiaojuan, Yang Yuhua, et al. Flexible self-powered sensor based on PVDF-TrFE film[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2018, 39(7):42-48.
- [11] Khatun F, Hoque N A, Thakur P, et al. 4'-Chlorochalcone-assisted electroactive polyvinylidene fluoride film-based energy-storage system capable of self-charging under light[J]. *Energy Technology*, 2017, 5(12):2 205-2 215.
- [12] Kepler R G, Anderson R A. Ferroelectric polymers[J]. *Advances in Physics*, 1992, 41(1):1-57.
- [13] Shepelin N A, Glushenkov A M, Lussini V C, et al. New developments in composites, copolymer technologies and processing techniques for flexible fluoropolymer piezoelectric generators for efficient energy harvesting[J]. *Energy & Environmental Science*, 2019, 12(4):1 143-1 176.
- [14] Wambua P, Ivens J, Verpoest I. Natural fibres:Can they replace glass in fibre reinforced plastics?[J]. *Composites Science & Technology*, 2003, 63(9):1 259-1 264.
- [15] Sidler K, Vazquez-Mena O, Savu V, et al. Resistivity measurements of gold wires fabricated by stencil lithography on flexible polymer substrates[J]. *Microelectronic Engineering*, 2008, 85(5-6):1 108-1 111.
- [16] Arkhireyeva A, Hashemi S. Effect of temperature on fracture properties of an amorphous poly(ethylene terephthalate) (PET) film [J]. *Journal of Materials Science*, 2002, 37(17):3 675-3 683.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,杂志社所在地为山东省济南市,本刊唯一合法投稿网址为 www.epa1973.net,本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址,辨别来电属地,不要给个人账户汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)