
力学所在热释电能量收集器性能评估标准研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14046.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近年来，应用于可穿戴设备、结构监测、物联网系统等领域的低功耗微型传感器获得广泛关注。有限的电池能量和长时间工作需求之间的矛盾是阻碍这些传感器走向实际应用的重要因素。因此，研究人员研制了基于太阳能、压电、热电、热释电、摩擦电等原理的各种能量收集器，热释电能量收集器（Pyroelectric Energy Harvester）是其中一种重要的能量收集器件。热释电效应指的是当温度发生改变时，热释电薄膜的自发极化强度改变，在极化方向的上下表面产生变化的束缚电荷，进而在两个表面间产生变化电压的现象，如图1a所示。器件在温度波动时的输出电压是评估热释电器件性能的重要标准，一些文献通常用热释电器件在单位摄氏度温度变化下的输出电压（ $V/^{\circ}C$ ）来表征其器件的能量收集性能，也有一些文献将其测量结果表述为“开路电压”。然而，这些实验结果与热释电开路电压理论矛盾，当温度变化值恒为正时（图1b），理想开路电压应当是与温度变化值成正比的恒正曲线（图1d），而大量文献却测量到了正负交替的实验曲线（图1c）。

为了解释这一领域基础性问题，中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室柔性结构与器件力学课题组通过实验和理论两个方面进行了研究。研究团队采用PVDF材料制备了薄膜状的热释电器件，极化方向沿厚度方向。在相同的温度加载下（图2b），采用三种具有不同内阻（10 $M\Omega$ 、150 $G\Omega$ 和200 $T\Omega$ ）的电压表来测量该热释电器件的输出电压，其测量结果如图2c蓝色曲线所示。电压表内阻分别为10 $M\Omega$ 、150 $G\Omega$ 和200

$T\Omega$ 时，测量到的第一周期电压峰值分别为0.0247 V、49.9 V和56.7

V，电压峰值相差2296倍。三种电压表得到的电压波动模式相差较大：10 $M\Omega$

内阻电压表的测量结果中，电压从第一个周期即开始正负交替地波动；150 $G\Omega$ 内阻电压表的测量结果中，电压在前4个周期有明显衰减，直至正负交替地波动，且幅值远大于10 $M\Omega$ 的结果；200 $T\Omega$

的结果中，曲线几乎全正，仅在最后几个周期有微小的衰减，且峰峰值与150 $G\Omega$ 的结果相差不大。此外，进一步的实验还发现，热释电电压输出同时也依赖于电压表的电容，这一现象在使用高内阻电压表时更显著。以上的实验结果表明，热释电器件的输出电压依赖于所使用电压表的电学参数，这与通常的理想电压表假设不符。

为了更深入地理解这一问题，研究团队建立了同时考虑热释电器件与电压表的电阻和电容时，热释电器件的电压输出理论：

其中， p_3 , d 和 A 分别为热释电薄膜的热释电系数、厚度和表面积。 ΔT 和 V 分别为热释电薄膜的温度变化值和输出电压。 R_{PyEH} 、 k_{33} 、 R_V 和 C_V 分别为热释电薄膜的电阻、介电常数、电压表的内阻和电容。将温度变化代入公式 (1) 计算得到考虑电路参数的理论输出电压，结果如图 2c 的红色曲线所示，其与实验结果相符。从理论和实验结果分析显示：热释电电荷会通过电压表内阻衰减，进而导致测量的电压降低。然而，尽管电压表内阻已高达 $200\text{ T}\Omega$ ，仍能够观察到电压的衰减。研究团队采用具有更大内阻的热释电器件的对比试验显示，对于通常的薄膜状热释电器件，热释电电荷同时也会通过热释电器件本身的内阻衰减，进而导致电压衰减，而该内阻由器件本身的物理性质决定。这意味着开路电压在许多情况下无法被测量到。为了解决这一问题，研究团队提出了本征电压值 $V_{intrinsic}$ 并用以取代开路电压 V_{open} 作为评估热释电器件性能的新标准：

(2)

在进一步的分析中，研究团队还发现：(1) 当使用 $10\text{ M}\Omega$ 内阻的电压表（也是最常见的电压表）测量时，输出电压结果与温度变化峰值无关，而与温度变化速率成正比。这意味着大量采用了低内阻电压表进行测量的实验中，其给出的单位温度变化下，器件的输出电压结果 ($V/^\circ\text{C}$) 没有任何实际意义。(2) 在使用高内阻电压表测量时，测量电路的电容成为影响器件输出电压的主要因素，而这一参数在几乎所有采用了高内阻电压表的论文中均未被给出。以上的结论同样能够被扩展至基于压电、摩擦电等其他原理的能量收集器，为其性能评估提供了一个实用标准。

相关研究成果发表在 [Nano Energy](#)

上。力学所非线性力学国家重点实验室在读博士生李沁蓝为论文第一作者，研究员苏业旺为论文通讯作者。研究工作获得国家自然科学基金面上项目、中科院前沿科学与教育局从 0 到 1 原始创新项目、中科院创新交叉团队项目和中科院战略性先导科技专项的资助。

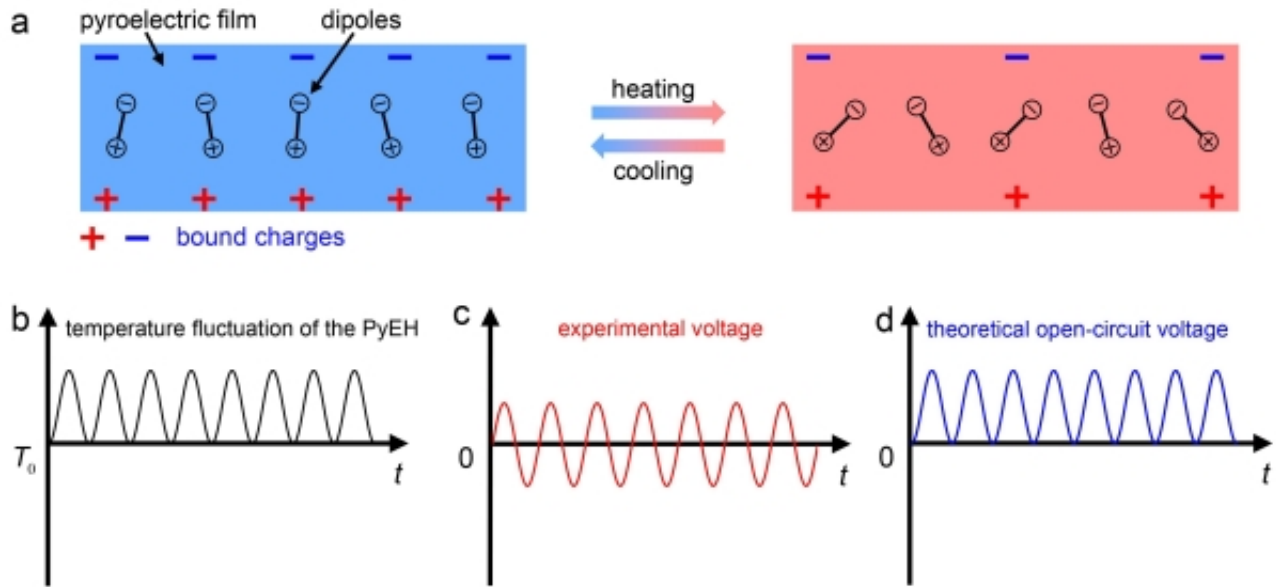


图1. (a) 热释电效应， (b) 恒正的温度波动， (c) 输出电压的实验测量结果， (d) 理论预测的开路电压

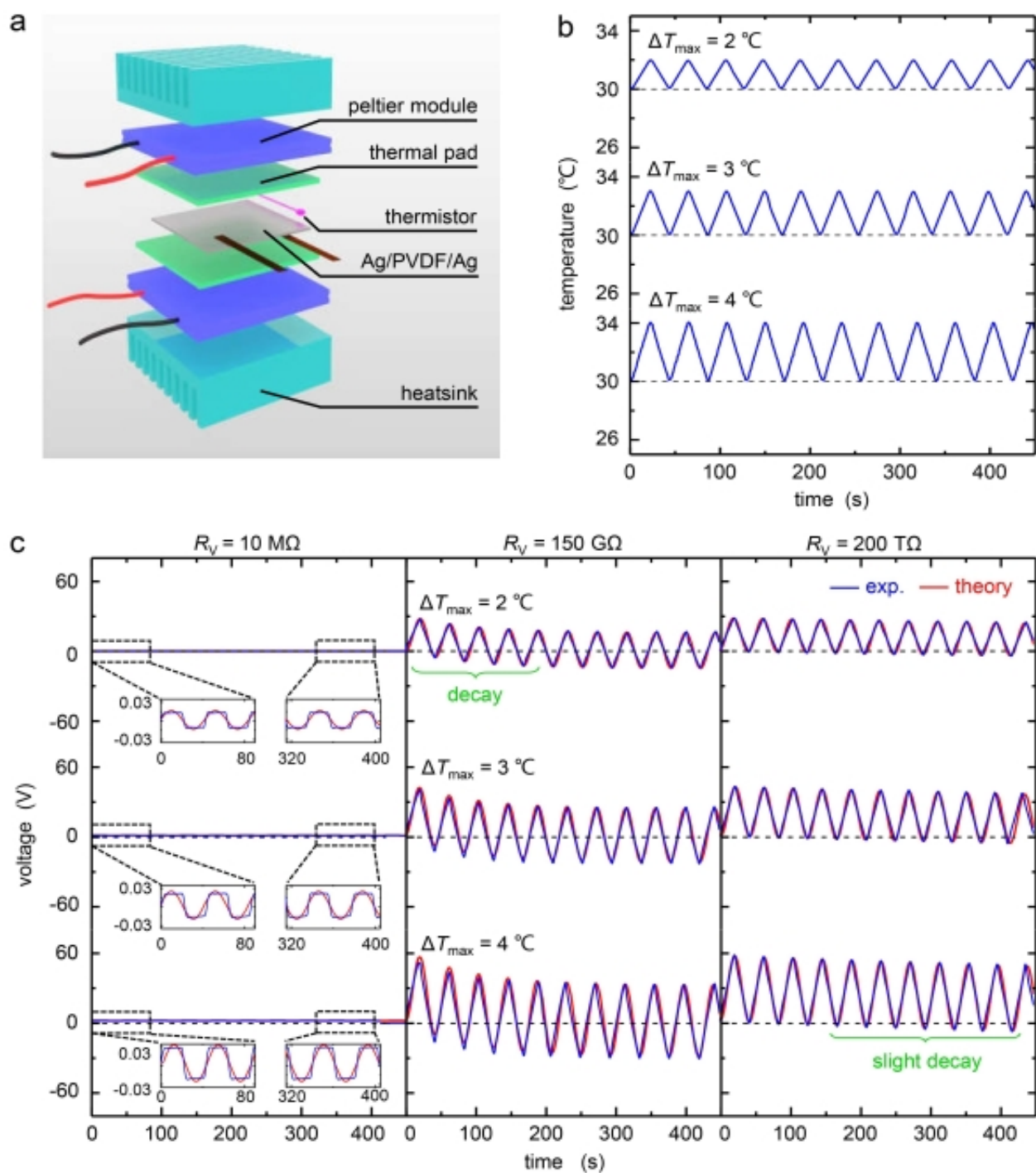


图2. (a) 实验装置示意图, (b) 温度曲线, (c) 分别使用10 M Ω (左), 150 G Ω (中), 和200 T Ω (右) 三种电压表所测量到的器件输出电压

研究团队单位：力学研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发