

网站地图 (<http://www.imech.cas.cn/serv/wzdt/>) |

联系我们 ([http://www.imech.cas.cn/serv/lxfs/201212/t20121205\\_3698646.html](http://www.imech.cas.cn/serv/lxfs/201212/t20121205_3698646.html)) |

所内网 (<http://www.imech.cas.cn/serv/szxx/>) | 所内网 (<https://ioa.imech.ac.cn>) |



<http://english.imech.cas.cn/> 中国科学院 <http://www.cas.cn/>

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

(<http://www.imech.cas.cn/>)

Search



当前位置：首页 (../..../..../) >> 科学传播 (../..../..../) >> 力学园地 (../..../) >> 释疑解惑 (../..../)

## 【释疑解惑】热释电能量收集器

2022-07-01 15:51

【放大 缩小】

《力学园地》编辑部：

在你们的园地里，曾看到介绍柔性传感器的文章，这些微型传感器应用于火星探测器着陆器的降落伞研究，还可以应用于可穿戴设备等其它领域。我们还希望知道这类传感器的电源是什么样的？

一群技术员

2022年3月22日

### 热释电能量收集器

李沁蓝

的确，近年来应用于可穿戴设备、结构监测、物联网系统等领域的微型传感器得到了研究人员的广泛关注。尽管这类传感器都是低功耗的，但是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。它们能够直接从温度梯度、温度波动、变形、振动等外部激励中收集电能，并用以给各种微型传感器提供能量。热释电能量收集器(Pyroelectric Energy Harvester, PyEH)就是其中一种重要的能量收集器件。

物理学知识告诉我们，在外电场等因素的作用下，电介质会表现出“极化”的现象，具体表现为材料内部产生宏观极化强度，材料表面产生束缚电荷(Bound charges)。极化的微观机理通常被解释为材料内部产生方向有序排布的电偶极子(Dipoles)。然而，在一些具有特定晶体结构的电介质中，存在由晶体结构导致的方向有序排布的电偶极子，在无外电场时也体现出宏观的极化现象，此时介质的极化强度称为“自发极化强度”。当

然，这里的“有序”是指宏观统计平均的结果。当温度增加时，热运动使得电偶极子的排布变得无序，体现出宏观极化强度的降低，表面束缚电荷减少；当温度降低时，宏观极化强度增加，表面束缚电荷增加，这种效应被称为“热释电效应”（参见图1a）。如果在薄膜状热释电材料（极化方向沿厚度方向）的上下表面贴上电极，构成电容型器件，温度所导致的束缚电荷变化会造成电容型器件上下电极净电荷的变化，由此产生变化的电压。

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，现有文献多数是采用未加载外部电负荷时热释电器件在单位摄氏度温度变化下的输出电压（V/°C）来表征该器件的能量收集性能，一些文献称其为“开路电压（Open-circuit voltage）”。然而，这些实验结果与热释电开路电压理论充满矛盾：当温度恒为正时（参见图1b），理论预测的开路电压是与温度变化值成正比的恒正曲线（参见图1d），而大量文献却测量到了正负交替的实验曲线（参见图1c）。

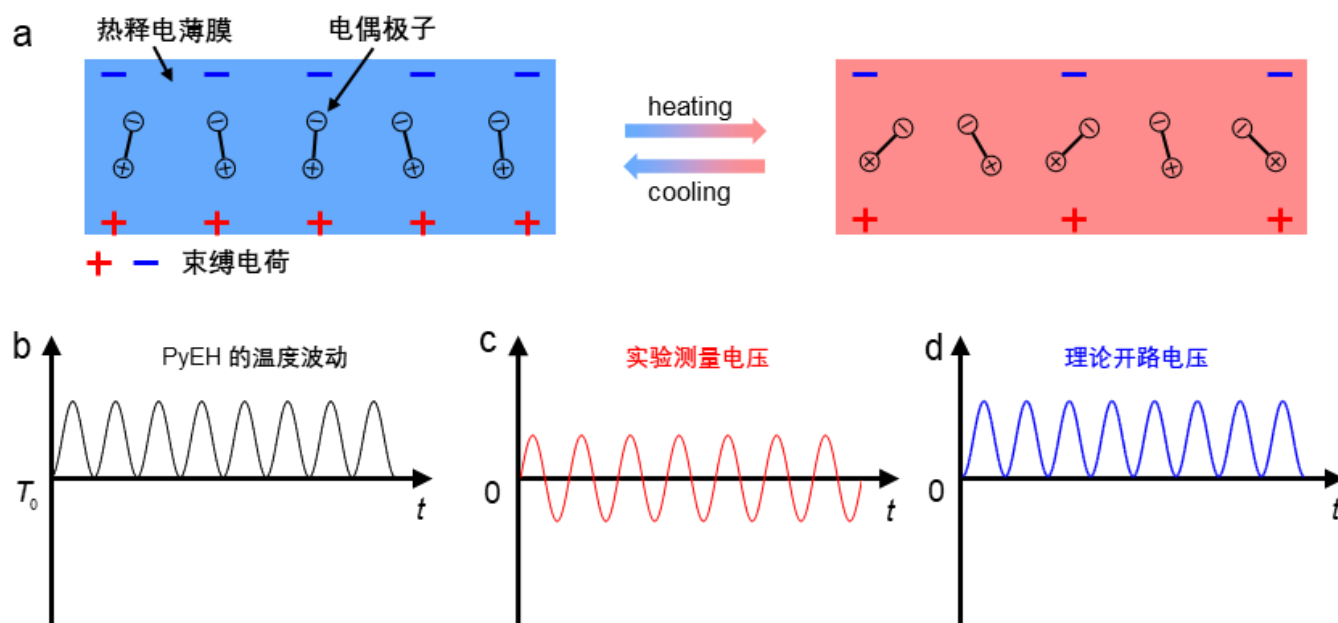


图1 (a) 热释电效应原理图示；(b) 恒正的温度波动（temperature fluctuation）；(c) 输出电压的实验测量结果，(d) 理论预测的开路电压（Open-circuit voltage）

为了解释这一基础性问题，中科院力学所非线性力学国家重点实验室的柔性结构与器件力学课题组在实验和理论两个方面进行了研究。该研究团队采用表面镀有银电极的PVDF材料制备了薄膜状的热释电器件，极化方向沿厚度方向。实验装置如图2a所示。两块半导体制冷片(Peltier module)作为温度控制部件，将制备好的镀银PVDF(Ag/PVDF/Ag)器件和一个微型温度传感器(Thermistor)隔一层导热贴(Thermal pad)夹在其中。温度传感器既用来测量热释电器件的温度，同时也为半导体制冷片的控制提供温度信号。散热片(Heatsink)用于保证制冷片效果，防止烧坏。

在相同的温度加载下（参见图2b），采用三种具有不同内阻的电压表来测量该热释电器件的输出电压，它们的内阻分别为：10兆欧（MΩ）、150吉欧（GΩ）和200太欧（TΩ）。测量结果如图2c蓝色曲线所示。图2c的结果表明：电压表内阻分别为10 MΩ、150 GΩ和200 TΩ时，测量到第一个周期的电压峰值分别为 0.0247 V、49.9 V和56.7 V，电压峰值最大相差2296倍！此外，三种电压表所得到的电压波动模式也相差很大。具体而言：

(1) 10 MΩ 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；(2) 150 GΩ内阻电压表的测量结果中，电压的峰值在前四个周期有明显衰减（decay），直至正负交替地波动，且幅值远大于10 MΩ的结

果：（3）200 T $\Omega$  内阻电压表的测量结果中，曲线几乎全正，仅在最后几个周期有微小的衰减（slight decay），且峰峰值与 150 G $\Omega$  的结果相差不大。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为显著。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。这里略去具体的推导与演算过程，计算结果如图2c中的红色曲线所示，可以看到理论与实验的结果相符得非常好。由于在实际测量中，开路电压在许多情况下是无法测量到的。因此，该研究团队提出了采用一个本征电压取代开路电压作为评估热释电器件性能的新标准。以上的结论可以扩展至基于压电、摩擦电等其他原理的能量收集器，这样为能量收集器的性能评估提供了一个实用的标准。

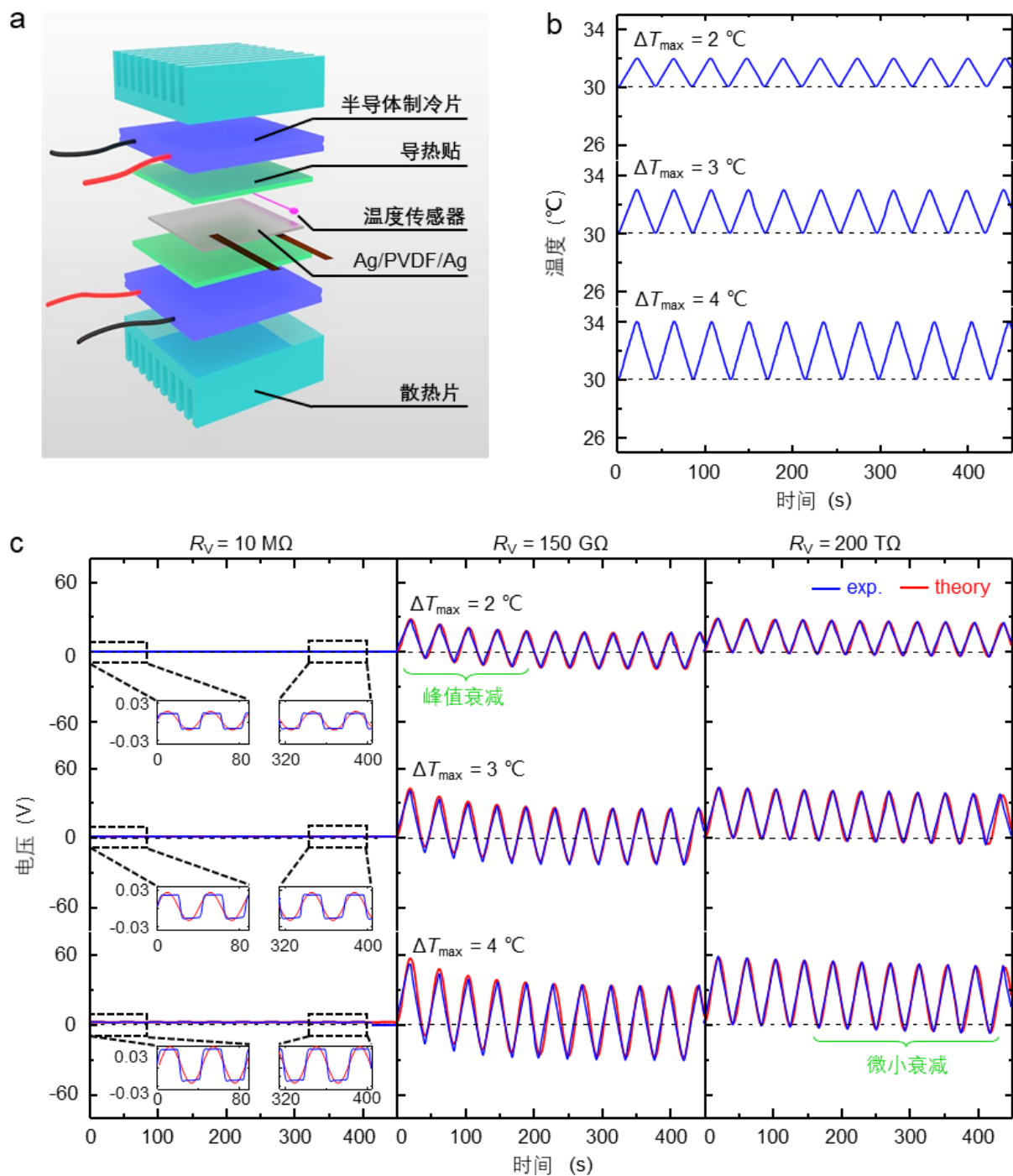


图2 (a) 实验装置示意图；(b) 温度变化曲线；(c) 分别使用 $10\text{ M}\Omega$  (左)， $150\text{ G}\Omega$  (中)，和  $200\text{ T}\Omega$  (右) 三种电压表所测量到的器件输出电压

这项工作表明，科学研究是一个不断探求真理的过程。不能迷信前人的结果，要通过自己的实验或理论工作，发现问题解决问题。

如果读者对相关研究有兴趣，可以在学术期刊Nano Energy中阅看该研究团队的论文（全文链接为：<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106045> (<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106045>)）。



中国科学院 (http://www.cas.cn)  
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

中国科学院力学研究所 版权所有 京ICP备05002803号 京公网安备110402500049

地址：北京市北四环西路15号 邮编：100190

(http://bszs.conac.cn/sitename?method=show&id=081D2D6355AD574EE053022819ACCBA7)

