

Influence of Thickness and Contact Area on the Performance of PDMS-Based Triboelectric Nano generators

厚度和接触面积对基于 PDMS 的摩擦纳米发电机性能的影响

史学睿

2020 年 2 月 15 日

摘要

摩擦电层的厚度和两摩擦电材料之间的接触面积对电信号的影响。使用了 PDMS-尼龙摩擦对, 并改变 PDMS 层的厚度。厚度增加, 电压降低; 但是最大电流, 却随之升高。摩擦电层厚度为 32um 时, 输出功率最大, 然后急剧降低。增大接触面积, 提高电输出。

1 简介

摩擦纳米发电机分为四种: 垂直接触分离 (vertical contact-separation)、侧向滑动 (lateral-sliding)、单电极 (single-electrode) 和独立式摩擦电层 (freestanding triboelectric-layer)。

闭合电路的输出电压为:

$$V = -\frac{Q}{A\epsilon_0}[d_0 + x(t)] + \frac{\sigma x(t)}{\epsilon_0} \quad (1)$$

开路电压为:

$$V_{OC} = \frac{\sigma x(t)}{\epsilon_0} \quad (2)$$

其中, Q 是转移电荷量

$x(t)$ 是两电极之间的时间距离关系

ε_0 是真空介电常数

d_0 是两电极之间的有效长度, 由 $\frac{d_1}{\varepsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\varepsilon_{r2}}$ 给出

TENG 产生的短路电流与摩擦电荷密度 (σ), 电极面积 (A), 和相对机械运动速度 $v(t)$ 成正比, 与电极之间距离的平方成反比:

$$I_{SC} = \frac{\sigma A d_0 v(t)}{[d_0 + x(t)]^2} \quad (3)$$

PDMS 由于其柔韧性, 易于制造, 生物相容性和超疏水性而被广泛使用。

尼龙具有良好的机械性能 (强度和刚度), 高抗冲击性, 易于制造并且在较大的温度范围能保持其性能。

2 实验细节

实验材料:

SYLGARD 182 硅胶弹性体套件, 由两部分组成, 包括 PDMS 基底和固化剂 (二甲基, 甲基氢硅氧烷), 基底和固化剂的质量比为 10:1。

利用旋涂技术将 PDMS 沉积在铝基板上用作一个电极。旋涂速度从 500 到 5000 rpm 变化, 使得 PDMS 层的厚度在 13 到 220 μm 之间, 然后将 PDMS 在 80°C 的恒温箱中固化两小时。另一种摩擦材料 (尼龙) 作为厚度为 50 μm 的薄膜使用。在两材料上都缠上铝胶带作为电极, 并放入 (20 cm^2) 的丙烯酸板中。使用 100 到 1 $\text{G}\Omega$ 电阻的电路测量电流、电压和功率与负载的关系。

3 结果和讨论

PDMS 厚度为 13 μm 时, 电压为 1.4V 最大; 厚度为 220 μm 时, 电压为 0.2V 最小。与 PDMS 薄膜的固有特性相关, 例如刚度、硬度或粗糙度及其厚度相关。电流的饱和值约为 1.3 μA 这些结果与纳米摩擦发电机的理论相一致。然后是负载为 100 到 1 $\text{G}\Omega$ 的电压和电流。结果表明, 对于所有的样品, 在负载超过 10 $\text{K}\Omega$ 时, 电压趋于恒定值 (开路电压)。而电流的变化正相反。结果表明, 在 PDMS 层厚度为 32 μm 时, 功率最大为 0.56 μW , 对应的功率密度为 0.55 mW/m^2 最小值为 0.23 μW , 对应的功率密度为 0.23 mW/m^2 。

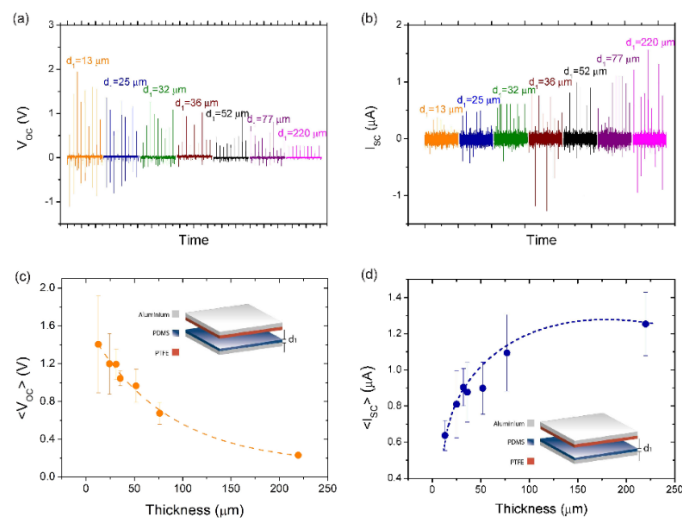


图 1: 实验结果

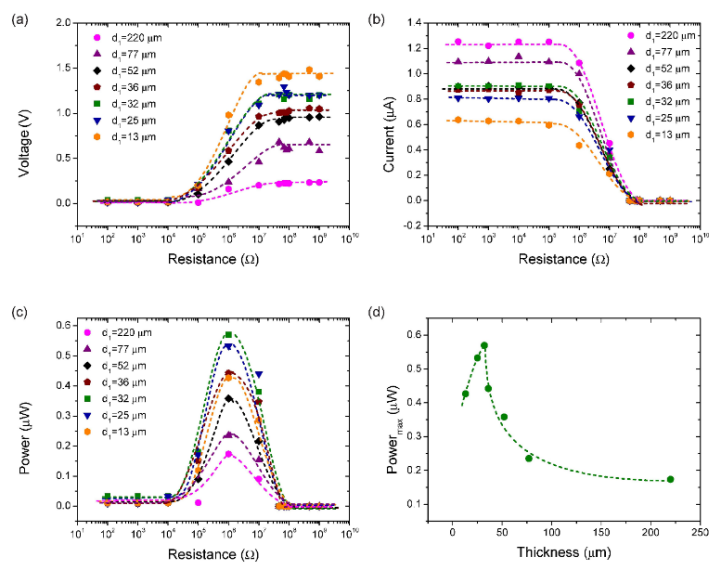


图 2: 实验结果

3.1 摩擦电层面积的影响

面积从 2.5 到 15cm^2 变化, 使用 PDMS-尼龙摩擦对, PDMS 层厚度为 $32\mu\text{m}$ 开路电压、短路电流和输出电流都随着面积的增大而增大。计算了不同面积的电压和电流峰值的平均值。图三显示了在垂直接触分离模式下 PDMS-尼龙摩擦对产生的开路电压的平均值。面积为 15cm^2 时电压达到最大值为 1.2V , 电流达到最大值为 $0.34\mu\text{A}$ 。随着接触面积的增大, 输出电压和电流均随之增大。对这四种面积在负载为 100 到 $1\text{G}\Omega$ 时分别测量电学输出, 如预期相同, 高电阻下电压有最大值 1.2V , 在小电阻下电流达到最大值 $0.43\mu\text{A}$ 。随着面积的增大, 最大输出功率也随之增加, 可达到 $0.5\mu\text{W}$, 相应的功率密度为 $0.33\text{mW}/\text{m}^2$ 。

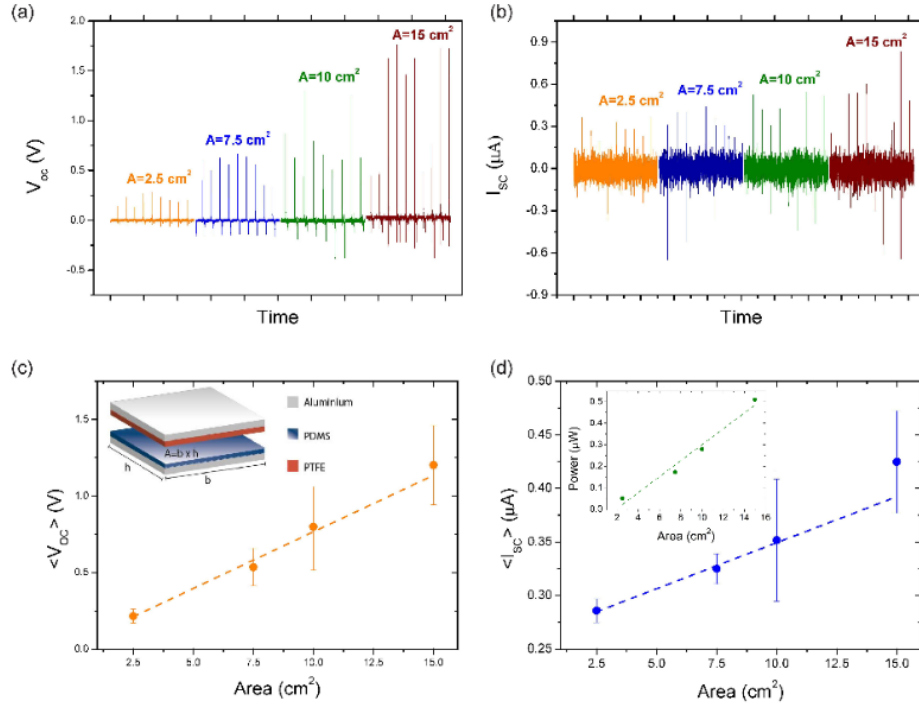


图 3: 实验结果