

河北工业大学 2020 届本科毕业论文前期报告

毕业论文题目：柔性纳米发电机的特性研究

专业（方向）：应用物理学

学生信息：学 号：160120

姓名：史学睿

班级：物理 162 班

指导教师信息：教师号：14076

姓名：朱吉亮

职称：副教授

报告提交日期：2020 年 3 月 21 日

一、进度完成情况

利用学校图书馆的数据库，在各类期刊文献上查阅了相关资料和文献，初步了解了柔性纳米发电机的几种基础模型和对应的理论分析情况。从基础模型出发，简单设计了发电机的结构，测试平台以及外部工作电路。

二、 内容介绍

1. 简介

柔性纳米发电机是一种新型的机械能收集技术，是利用特殊的纳米材料，将机械能转化为电能的微型发电机。它们具有极高的灵活性，可以轻易的制造成各种构造，因此具有大量的应用，甚至为材料科学家开辟了一个新的领域^[1]。环境中的机械能具有分布广泛、表现形式多样和容易转换等优点，利用柔性纳米发电机可以有效的将其收集起来，并转化为电能，为微电子器件提供能量^[2]。因此，各种基于柔性纳米发电机的应用层出不穷，如用于个人医疗保健和人机界面等^[3]。由于其优良的延展性、环境友好性、结构简单和受外界环境影响小等优点，目前为止，柔性纳米发电机已经广泛的应用于我们的生活中。

通常来说，柔性纳米发电机的性能主要取决于所用的基底材料以及纳米发电机本身的构造^[4]。基底材料，是柔性纳米发电机的主要构成部分，其选择及制备很大程度上决定着该纳米发电机的性能^[5]。合适的柔性纳米发电机的构造，能够有效地提高基底材料之间的电荷转移量，从而达到提高其输出性能的目的。而合理的外部工作电路的设计，搭配合适的负载，不仅能够有效提高纳米发电机输出性能的稳定性，还能够针对不同的应用情况做出实际的调整。

本研究从设计柔性纳米发电机构造和外部工作电路两方面着手，实现柔性纳米发电机输出性能的最大化。通过选择并制备基底材料，设计有效的纳米发电机的构造，以及设计搭建合理的外部工作电路，综合运用电学和光学测试技术，实现对柔性纳米发电机输出性能的优化。

2. 基本原理

基于摩擦电效应和静电感应的摩擦纳米发电机是一种新型的机械能收集技术，其基础结构分为四种：垂直接触-分离模式，横向滑动模式，单电极模式和独立式摩擦电层模式^[6]。在这里，我们选择了结构最为简单的垂直接触-分离模式，简单示意图如图 1，并在此基础上进行进一步的设计。

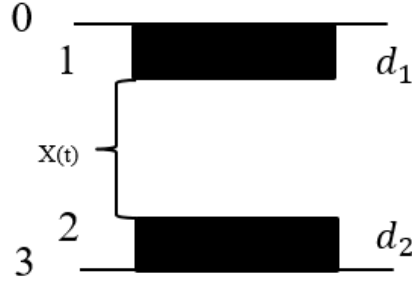


图1 垂直接触-分离模式示意图（0和3为上下电极层，1和2为两种介电材料）

在这个模式下，柔性纳米发电机的输出电压由以下公式给出^[7]：

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

$$d_0 = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\epsilon_{ri}} \quad (2)$$

其中 A 是介电材料的表面积， Q 是转移电荷量， $x(t)$ 是两个摩擦介电层之间的时间相关距离， ϵ_0 是真空介电常数， d_0 是由公式(2)给出的有效介电厚度，其中 d_i 为第 i 种介电材料的厚度， ϵ_{ri} 为第 i 种介电材料的相对介电常数。

在开路情况下，没有电荷转移，因此开路电压由以下公式给出：

$$V_{oc} = \frac{\sigma x(t)}{\epsilon_0} \quad (3)$$

柔性纳米发电机产生的短路电流 I_{sc} 与摩擦电荷面密度 σ ，介电材料的表面积 A 和相对机械运动的速度 $v(t)$ 成正比，而与电极之间距离的平方成反比。

$$I_{sc} = \frac{\sigma A d_0 v(t)}{[d_0 + x(t)]^2} \quad (4)$$

3. 结构设计

在设计摩擦纳米发电机的构造时，有必要考虑影响其性能的主要因素，尤其是摩擦材料的选择。因此，根据摩擦电材料的极性（材料获得/失去电子的能力）进行排序^[6]。在这里，我们选用 PDMS 作为柔性纳米发电机的主要材料。设计的结构简图如图2所示。

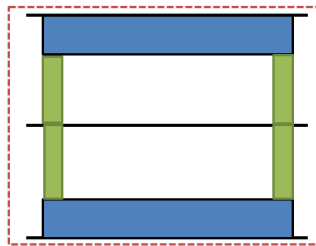


图2 柔性纳米发电机结构简图

其中，黑色线条为金属电极层，蓝色部分为 PDMS 层，绿色部分为间隔填充物，外侧红色虚线为 PET 薄膜，起到保护外壳的作用。为增加电荷转移量，可将中间电极层更换为尼龙材料，以获得更多的电荷^[8]。

4. 外部工作电路

根据已经阅读过的参考文献来看，制作出来的纳米发电机的开路电压的波形大致相同，均为交流电压。但是，大小却有着很大的区别，有的可以达到几十伏特甚至几百伏特，而有的却仅仅只能达到几个伏特。因此，为了在实验开始前做好充分的准备，特地准备了两种不同的整流电路，来对应不同大小电压的测量及使用。

第一种情况，当电压足够大为几十伏特的时候，可以简单的直接使用整流电路中最常用的桥式整流电路。这种整流电路，不会损失掉一半的电压，而只是会损失因为引入两个二极管带来的二极管压降。而二极管压降一半为 0.6V 或 0.7V，因此影响很小，在误差可接受范围内，不会影响测量结果。

而当电压仅仅为几个伏特的时候，由二极管引起的电压损耗就不得不考虑进去了。因此设计了如图 3 所示的整流电路，在尽可能降低损失的前提下完成整流。

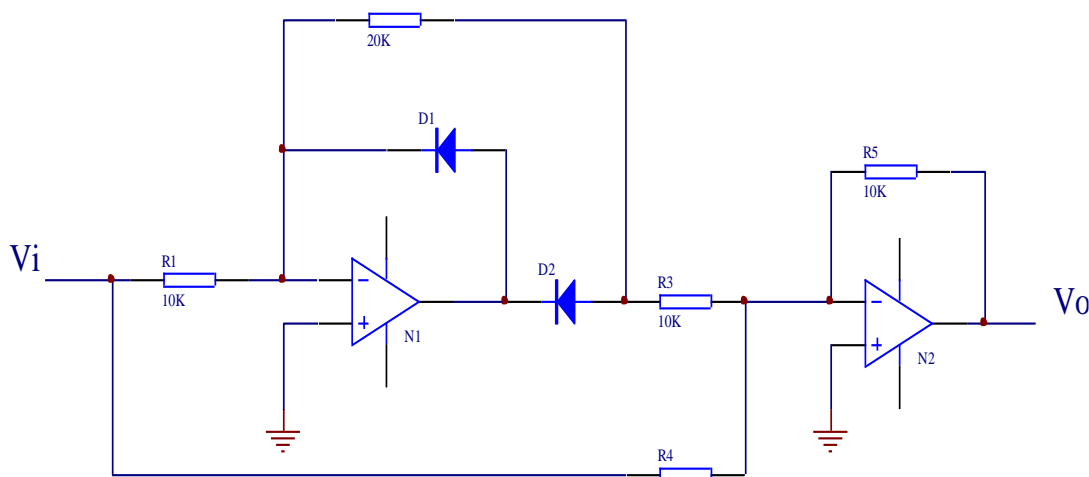


图 3 小电压整流电路

参考文献：

- [1] Zeng W, Tao X M, Chen S, et al. Highly durable all-fiber nanogenerator for mechanical energy harvesting[J]. Energy & Environmental Science, 2013, 6(9): 2631-2638.
- [2] 朱杰. 柔性压电纳米发电机的设计构建与应用研究[D]. 中北大学, 2018.
- [3] Yu J, Hou X, Cui M, et al. Flexible PDMS-based triboelectric nanogenerator for instantaneous force sensing and human joint movement monitoring[J]. Science China Materials, 2019, 62(10): 1423-1432.
- [4] Fan F R, Lin L, Zhu G, et al. Transparent triboelectric nanogenerators and self-powered pressure sensors based on micropatterned plastic films[J]. Nano letters, 2012, 12(6): 3109-3114.
- [5] Zhang Y, Wu M, Zhu Q, et al. Performance enhancement of flexible piezoelectric nanogenerator via doping and rational 3D structure design For self - powered mechanosensational system[J]. Advanced Functional Materials, 2019, 29(42): 1904259.

- [6] Niu S, Wang Z L. Theoretical systems of triboelectric nanogenerators[J]. Nano Energy, 2015, 14: 161-192.
- [7] Niu S, Zhou Y S, Wang S, et al. Simulation method for optimizing the performance of an integrated triboelectric nanogenerator energy harvesting system[J]. Nano Energy, 2014, 8: 150-156.
- [8] Burgo T A L, Galembeck F, Pollack G H. Where is water in the triboelectric series[J]. Journal of Electrostatics, 2016, 80: 30-33.