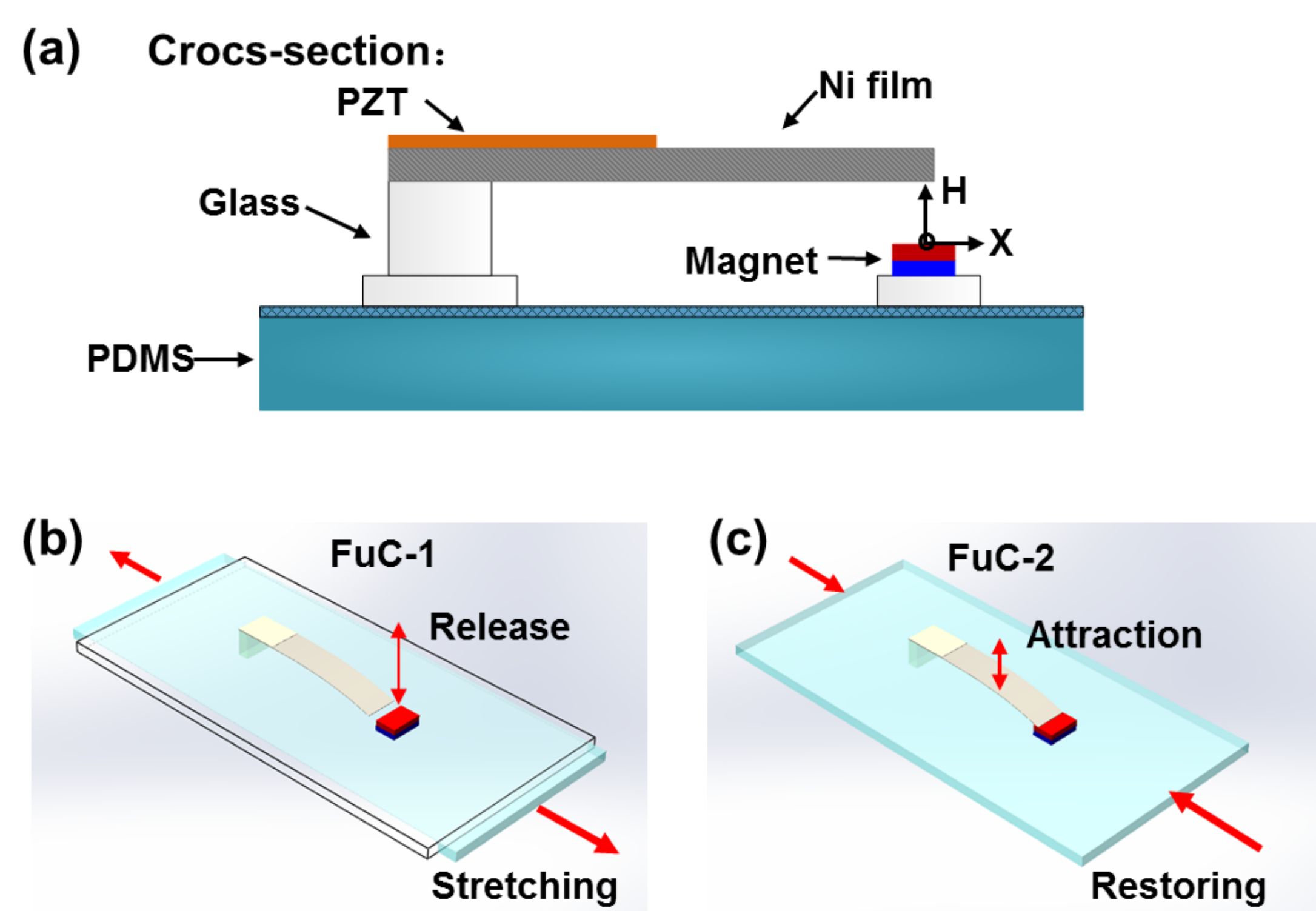


# 应用于可穿戴设备的拉伸式压电 MEMS（微机电）能量采集器

何启盛<sup>1</sup>, 李昕欣<sup>1</sup>

1. 传感器国家重点实验室, 中科院上海微系统与信息技术研究所, 上海市

可穿戴设备是近几年发展最快的电子产品之一, 但是目前电池寿命仍然不够长、换电池代价高等问题制约进一步发展。为解决该问题, 本文提出一种可拉伸式压电振动能量采集器, 可转化人体运动的能量直接为设备的供电。本文通过仿真研究该能量采集器整体力学特性和压电悬臂梁的电能输出行为, 包括输出电压, 谐振频率等, 并确定器件正常工作所需条件。

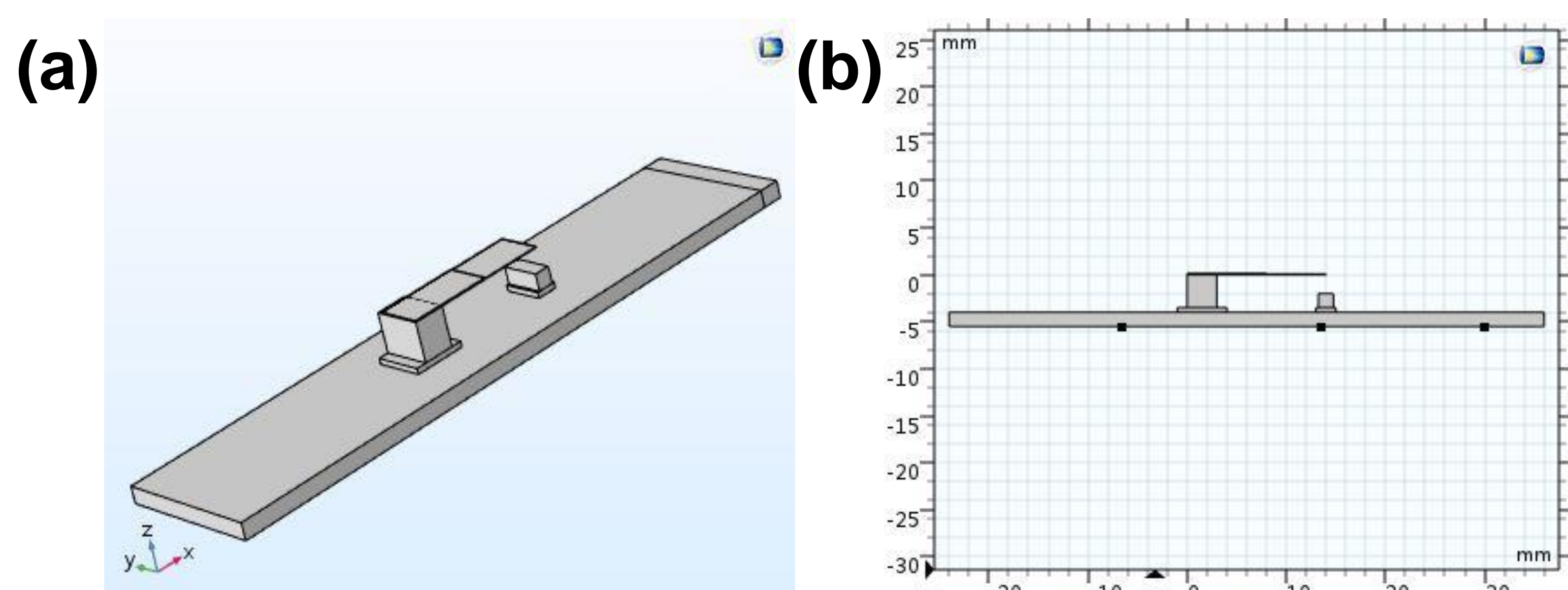


**图 1.** (a) 器件截面图。(b) 悬臂梁初始状态被磁铁吸引, 器件PDMS聚合物衬底被拉伸时, PZT悬臂梁释放振动发电。(c) 衬底回复时, 悬臂梁被磁铁吸引, 再次振动发电。

**计算方法:** 该问题需要用到压电设备多物理场接口 (结构力学+静电学), 同时为了采集电能, 还需要添加电路模块。结合悬臂梁欧拉梁模型和压电本构方程, 求解的方程如下所示。

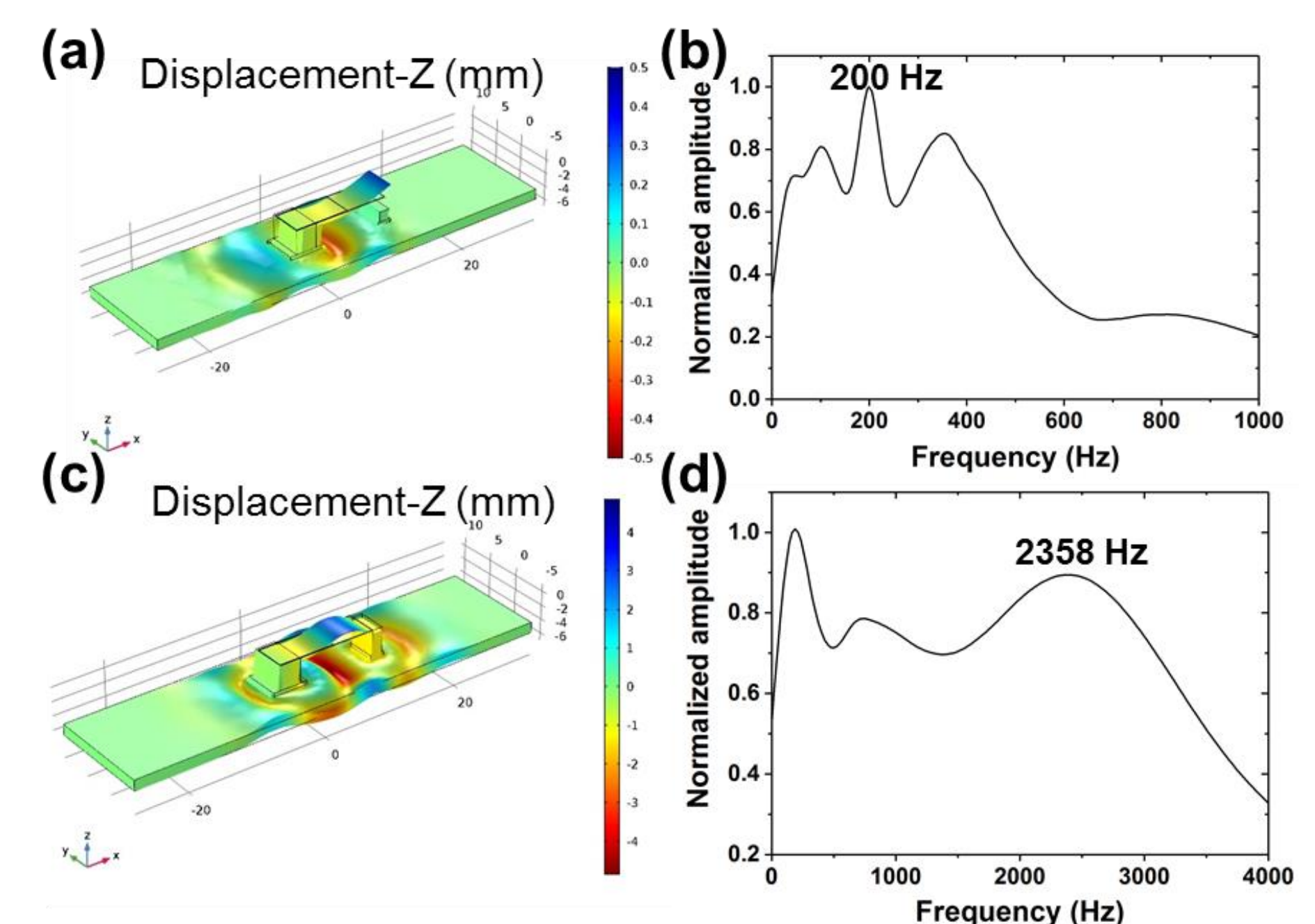
$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ YI \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ c_m I \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x^2 dt} \right] + c_a \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + m \frac{\partial^2 u(x,t)}{dt^2} + g v(t) \frac{d}{dx} [\delta(x) - \delta(x - L_p)] = f(x,t)$$

**几何模型和边界条件:** 建立3D模型, PDMS一端固定, 另外一端施加固定位移。使用辊支撑保证器件保持水平拉伸。磁铁对铁磁悬臂梁的最大吸引力提前仿真得出, 并直接施加在悬臂梁尖端。同时, 还建立2D模型来研究瞬态行为。

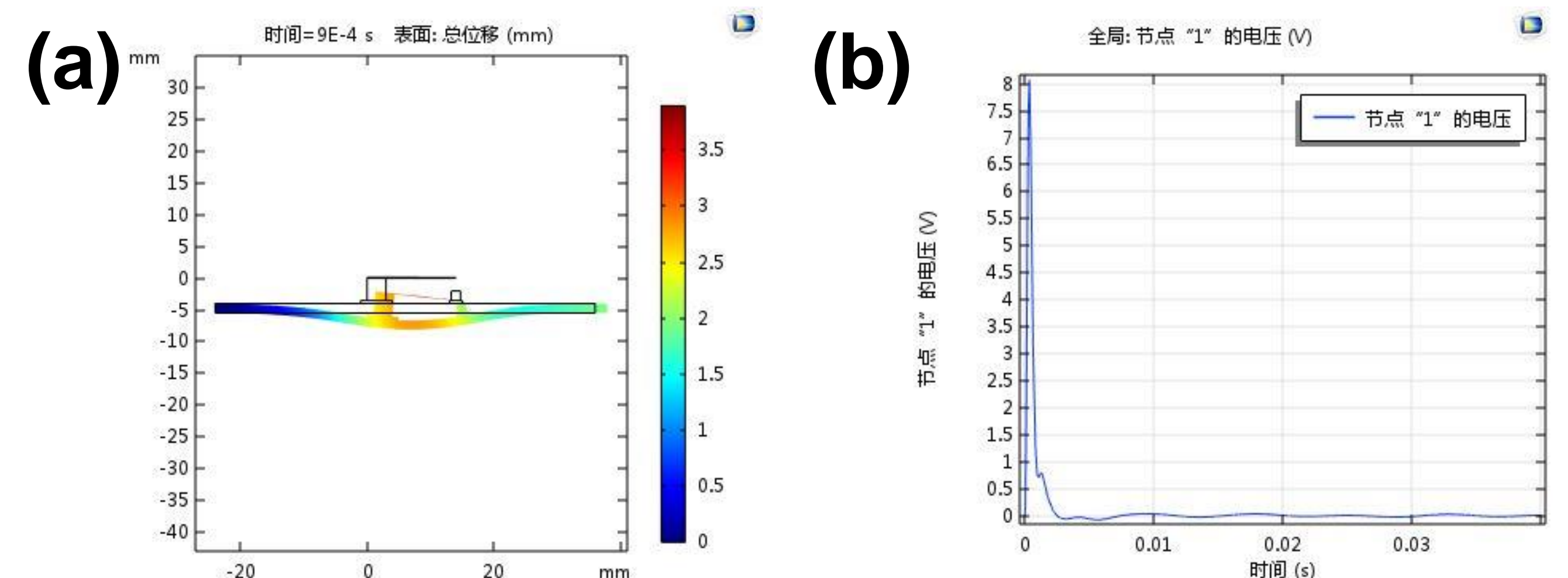


**图 2.** (a) 器件3D几何模型。(b) 截面2D几何模型。

**结果:** 特征值研究, 单纯地采用3D结构力学仿真得到频谱和模态情况, 如图3。采用2D仿真, 得到电能输出状态, 可以看到器件有显著的电压输出峰值, 如图4。

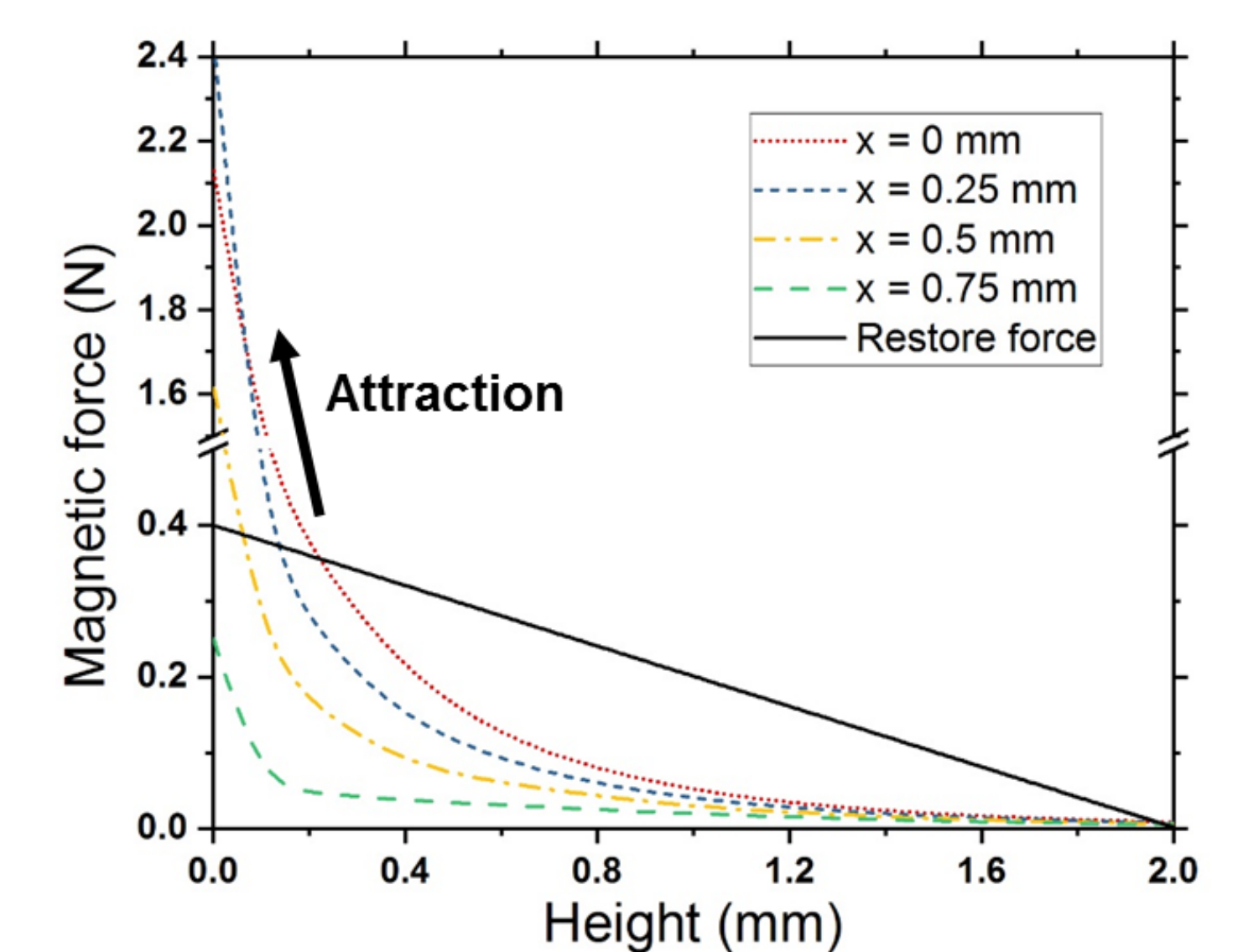


**图 3.** (a)-(b) FuC-1 状态振动和频谱情况。(c)-(d) FuC-2状态振动和频谱情况。FuC-1状态谐振频率较低。



**图 4.** 2D仿真的器件(a)形变和(b)电能输出情况。

| 变量     | 数值  | 单位 |
|--------|-----|----|
| 悬臂梁长度  | 11  | mm |
| PZT长度  | 5   | mm |
| 悬臂梁宽度  | 4.5 | mm |
| PDMS长度 | 60  | mm |



**表 1.** 器件主要尺寸参数。**图 5.** 磁吸引力 $F_{mag}$ 和悬臂梁弹性回复力 $F_{restore}$ 。

**结论:** 该器件应用方法为直接安装在膝盖和手肘处, 通过弯曲运动触发器件发电过程。因此, 该仿真把高弹性悬臂梁和柔性薄膜组合在一起研究, 能够分析出柔性衬底特性对整个器件谐振频率、发电效率的影响, 进而确定衬底尺寸、最低肢体弯曲程度等要求, 完成器件和应用更精确的匹配。该器件外界接口电路和储能元件, 就可以直接给计步器等可穿戴元件供电。

## 参考文献:

1. COMSOL Multiphysics, Piezoelectric Energy Harvester
2. J.D.Hobeck and D.J.Inman, "A distributed parameter electromechanical and statistical model for energy harvesting from turbulence-induced vibration", Smart Materials and Structures, 23, 115003 (2014)