

金刚石Love波液相传感器的3D有限元仿真

钱进¹, 钱莉荣¹, 李翠平¹

1. 天津理工大学电气工程学院, 天津市薄膜电子与通信器件重点实验室, 天津

简介:生物传感器通常工作于液体介质中以检测生物标志物。Love波由于没有垂直剪切方向的位移分量, 在液相环境中传输信号衰减减小, 故更适用于液相生物传感器的应用。本项目利用COMSOL多物理场软件, 仿真研究了一种基于叉指换能器(IDT)/(100)ZnO/SiO₂/Diamond多层结构的Love波延迟线型液相传感器。在这种Love波生物传感器中, 液槽(liquid cell)的设计非要重要, 要求液槽中液体对Love波传输特性的影响越小越好。因此我们比较了两种不同液槽结构(如图1所示)对Love波器件传输特性的影响(如图2所示), 并通过对优化液槽结构器件施加正弦信号进行了瞬态研究, 仿真得到了添加液体前后不同时刻声波位移图、液体内的声压分布(如图3和图4所示)以及输出信号图(如图5所示)。

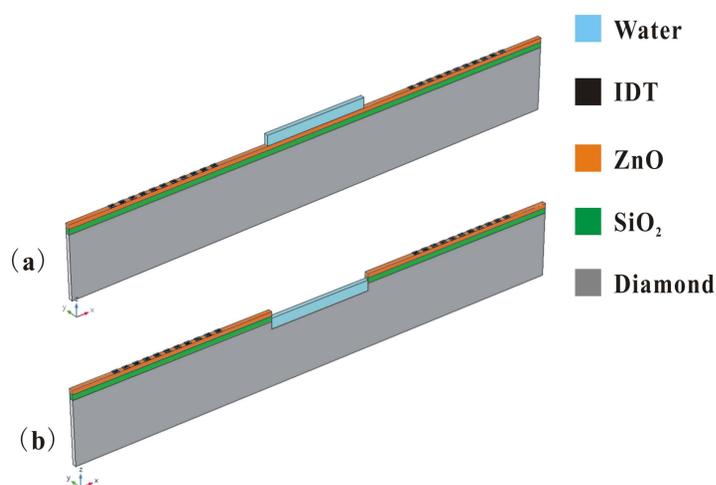


图 1. IDT/(100)ZnO/SiO₂/Diamond器件中两种微腔结构示意图:
(a) 液槽位于基片表面上; (b) 液槽凹于基片内

计算方法:通过旋转坐标系设置压电材料(100)ZnO的欧拉角为(0°, 90°, 0°), 波长取 $\lambda=3 \mu\text{m}$, SiO₂层厚度取 0.25λ , ZnO层厚度取 0.2λ , 延迟线距离是 10λ , IDT电极数5对, 液槽长度为 5λ 。添加压电效应多物理场(包含固体力学与静电)和压力声学瞬态物理场。边界条件设置: 前后侧为周期性条件, 四周为低反射条件, 底部是固定约束。在静电中电极上施加正弦信号, 通过设置瞬态研究仿真器件输出信号和液体内的声压。在静电中电极上施加脉冲信号, 通过设置瞬态研究仿真器件的脉冲响应以及利用傅里叶变换得到器件的频域响应S21。

仿真结果:

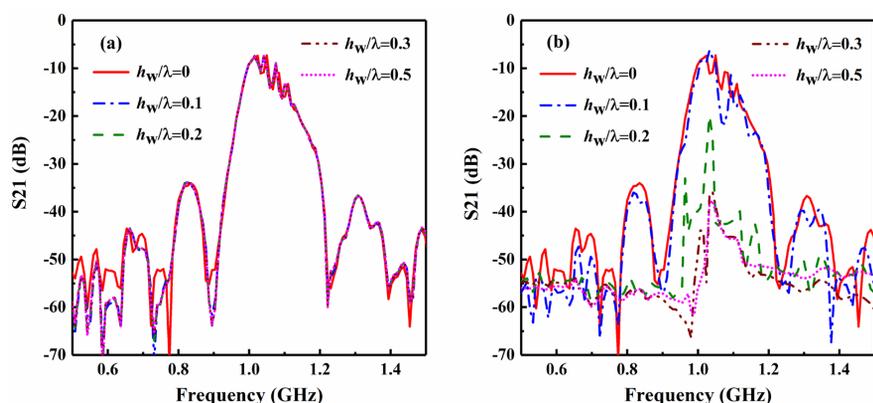


图 2. Love波器件插入损耗S21随液体深度的变化
(a) 液槽位于基片表面上; (b) 液槽凹于基片内

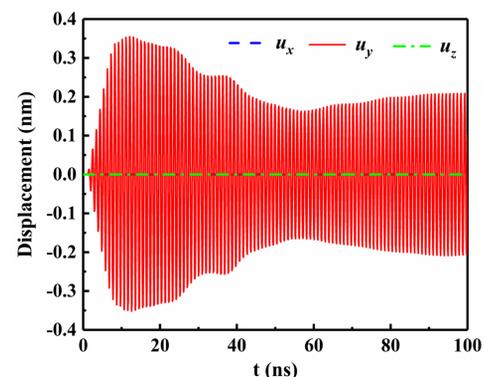


图 3. 基片表面声波位移分量随时间变化曲线

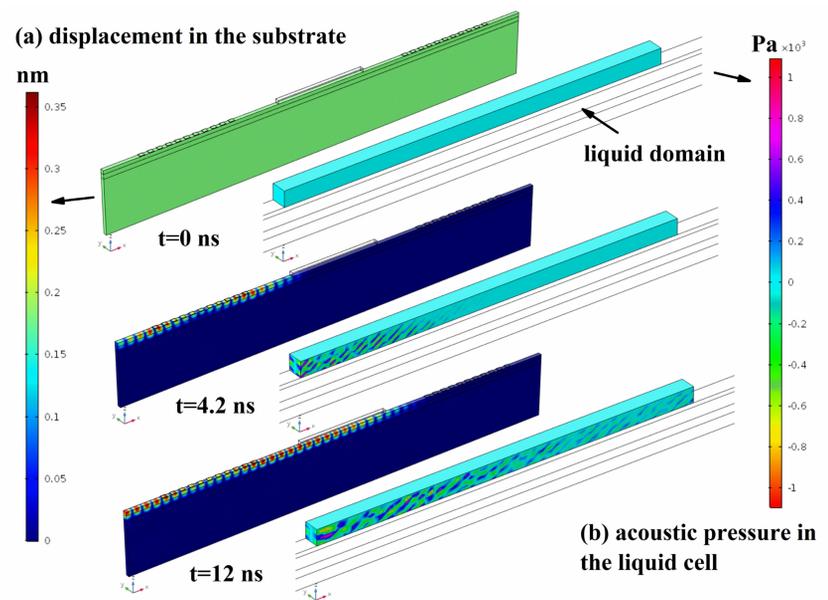


图 4. (a) 不同时刻Love波在衬底中传播的位移;
(b) 不同时刻液体在液槽内的声压分布

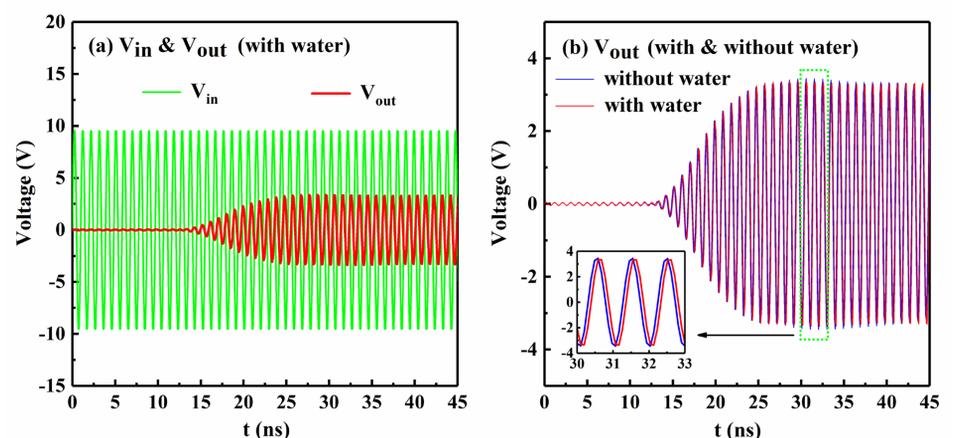


图 5. (a) 正弦激励信号与输出响应信号及(b) 添加液体前后输出信号的变化

结论:本文设计了一种IDT/(100)ZnO/SiO₂/Diamond结构的Love波延迟线型生物传感器, 从声波位移曲线中可知, 激励的声表面波为水平剪切振动(y方向)的Love波。通过比较了两种不同液槽结构对Love波器件传输特性的影响可以发现, 液槽位于基片表面上时添加液体前后器件的输出信号会产生一定相位迟滞, 但对Love波器件的传播损耗影响很小, 故该Love波器件适合于液相生物传感器的应用。

参考文献:

- Francis, Laurent Alain, et al. "An SU-8 liquid cell for surface acoustic wave biosensors." *MEMS, MOEMS, and Micromachining*. V. 5455. International Society for Optics and Photonics, (2004).
- Senveli, Sukru U., and Onur Tigli. "A novel approach for differentiation of liquid samples with surface acoustic wave transducers and embedded microcavities." *Sensors and Actuators B: Chemical* 196: 272-281, (2014).
- Qian J, Li C, Qian L, et al. Three-dimensional finite element simulation of Love mode surface acoustic wave in layered structures including ZnO piezoelectric film and diamond substrate. *Diamond and Related Materials*, 88: 123-128, (2018).