

深入认识用于产生声流的压电材料

数值仿真正在帮助研究人员了解声表面波和微流之间的相互作用。

作者: GARY DAGASTINE

微流控器件是许多应用（例如用于医疗诊断的芯片实验室传感器和低成本流量传感器）的关键，但由于其尺寸很小，使得有效抽吸和流体混合变得非常有挑战性。

流体在几百微米和更小几何体中的机械行为与宏观尺度的行为明显不同。这是因为在小尺度下，流体表面面积与其体积之比会大得多，表面张力、传热、粘度等因素的作用更加突出。

美国纽约州奥尔巴尼的 SUNY 纳米科学和工程学院 (CNSE) 的研究人员正在研究利用声表面波 (SAW) 引发流体流动，以作为流体驱动的一种可能性。由于声音在基片和流体中的传播速度不同，频散会导致声波以一定角度入射到液体中。这种压力波的衰减就会引起声流（更多详细信息请参见 35 页底部）。

为了高效设计这种器件，了解用于产生 SAW 的压电材料的声学属性是关键的第一步。在这方面，数值仿真可以成为非常强大的工具，例如，帮助确定各种电极金属与几何结构对声波传播的影响。所获得的知识可用于指导设计决策。

CNSE 的研究生导师 Graham Potter 正在对声流应用中应使用何种压电材料进行研究。SEMATECH 是一个全球性的半导体行业研究联盟，其目标是解决先进技术制造中的关键难题，而 CNSE

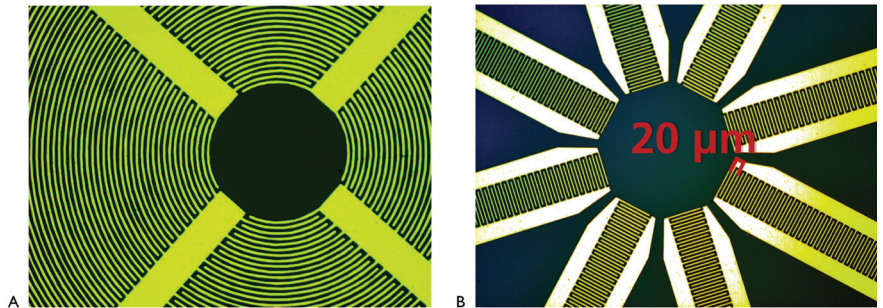


图 1: A) 铌酸锂晶体上以环形排列的叉指换能器或 IDT 的光学图像，用于向一个焦点发射表面波。B) 双端口配置中的一系列线性 IDT。这些器件可以用于测试表面上选定取向的声流效应，以及对仿真结果进行实验验证。20 μm 部分对应于所建模区域的大小。

是与 SEMATECH 独特校企合作的一部分。

Potter 在 CNSE 的 James Castracane 教授的实验室工作，他的团队设计了使用诸如 128° Y 向切割铌酸锂 (LiNbO_3) 之类压电基片构造的器件。“切割的角度根据晶轴确定。由于存在瑞利波，它是一种 SAW，其在沿晶片表面的单个方向上传播时会产生强机电耦合，所以传统上这种特定取向一直被用于带通滤波器，”他解释说。

“因此，许多使用这种材料的声流研究一直局限在取向于一个方向的线性器件。我们的兴趣是构造环形或聚焦器件架构（见图 1A）。出于这个原因，并且由于晶体的各向异性，我们需

要更好地了解波在整个表面上的传播特性，”Potter 继续道。

在他的装置中，压电基片上制作出了金电极（称为叉指换能器或 IDT）的阵列。由于逆压电效应，在电极上施加交变电流会导致表面发生简谐振动，从而产生 SAW。“通过改变这些测试器件在表面上的取向（图 1B），就可以确定谐振频率和声流响应这些变量与传播方向之间的函数关系，”Potter 解释说。

仿真和实验之间的良好吻合

他们使用 COMSOL Multiphysics® 对多个材料取向进行了仿真（见图 2），并对 CNSE 制作的器件进行了验证。“我们观察到我们的仿真和实验测量之间密切

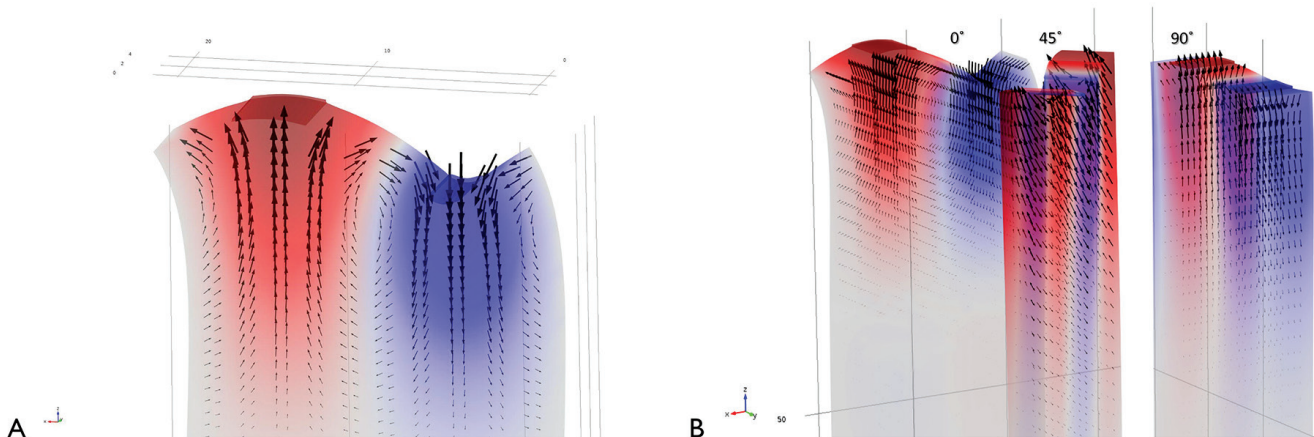


图 2：A) 谐振时的垂直位移和位移场线，通过仿真获得。对于该取向（相对于晶体 X 轴旋转 0°），观察到了瑞利波，矢状平面中的标志位移局限在表面的几个波长范围内。B) 对应于所制作器件的取向，在多个取向（相对于晶体 X 轴旋转 0-90°）进行仿真获得的材料位移的叠加图像。

吻合（见图 3）。这激励了我们在设计过程中进一步使用 COMSOL Multiphysics，而且确实加快了我们对这一问题的了解，”Potter 说。

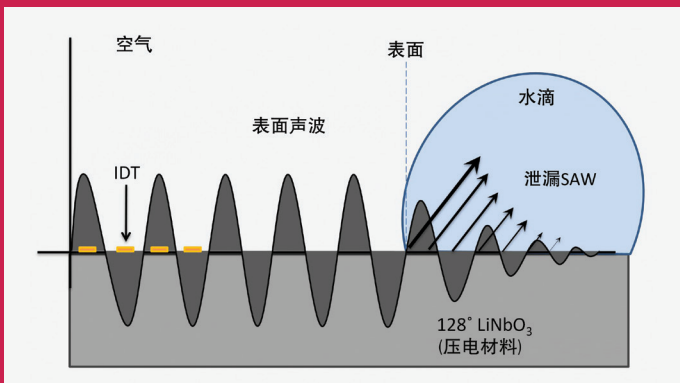
“例如，我们希望确认具有较大垂直位移的表面波会具有较高的流动速度。事实上，我们在仿真结果与实验测得的流动速度之间得到了很好的吻合，”他说道：“诸如此类的信息可以帮助揭示问题的各个方面，最终得到切实的设计选择。”

在这项研究中，Potter 采用了

COMSOL Multiphysics 的压电器件接口来进行频域分析。通过仿真，他确定了 SAW 的谐振频率和相位速度，在优化用于产生声流的器件几何时，它们是重要的设计参数。“我们小组的兴趣是通过各种方式优化流动效应，此外由于这项工作的多学科性质，COMSOL 的多物理场功能是非常有帮助的，”他解释道。“我们计划继续在我们的研究中使用 COMSOL，从而可以同时研究多种参数对于器件性能的影响，以减少用于原型设计的时间。” ■

相对于 X 方向旋转 (°)	实验谐振 (MHz)	仿真的谐振 (MHz)	相对误差 (%)
0	192.25	190.5	.9
15	187.75	188.2	.24
30	* 损坏	182.5	N/A
45	178.75	176.8	1.1
60	174.25	176.0	1.0
75	177.0	177.2	.1
90	178.75	178.7	.03

图 3：在选定取向上，仿真的器件响应和实验确定的器件响应的对比。实验谐振通过使用网络分析仪测量器件的插入损耗来确定（图 1B）。仿真的谐振基于频域仿真获得的导纳峰值来确定。



声流工作原理

通过将叉指换能器 (IDT) 排布到压电材料表面上，可以产生声表面波 (SAW)。瑞利表面波在空气中传播时几乎不会发生衰减；但在接触到液体时，波将开始“泄漏”到液体中。此时，它被称为泄漏 SAW。

它进入液体的角度由 SAW 速度相对于声音在液体中的速度决定。这种压力波会在一个足够长的时间尺度上发生衰减，从而产生流体流动。这种过程被称为声流，由法拉第于 1831 年首次通过实验在驻波模式的情况下观察到。