

## 基于反射率探测的光流体传感器

◆ 翟玉翠

(中国人民武装警察部队警官学院 基础部 四川成都 610000)

**摘要：**本文所述的是一种基于反射率探测的光流体传感器。测量一个样品的反射率是应用光流体传感器生物/化学分析的重要方法之一。相对于荧光标记，这项技术主要区别是免标记。由于被分析物的均质的存在，光流体反射率传感器测量反射率随着大量溶液改变，因为背景溶液会有不同的反射率（或者过度极化）。反射率探测对于具有极小探测体积的光流体传感器非常具有吸引力，因为反射率信号可以度量被分析物的大量集中或者表面密度，而不是用分子的总数。

关键词：光流体技术；反射率；传感器

在许多光流体反射率探测器中，电场可以被局域在一个非常小的体积（费米或纳米量级），因而可以极度降低被探测的分子的数量。各种各样的光流体结构包括金属的基于纳米孔阵列的等离子体（图 1a），光子晶体和光子晶体纤维（图 1b, c），以及干涉结构如环形谐振腔（图 1d, e），森德马赫干涉仪和法布里珀罗干涉仪（图 1f），当满足一些在生物/化学分析中的其他需求时，都被用来当作探索最大化光与被分析物之间相互作用的方法。

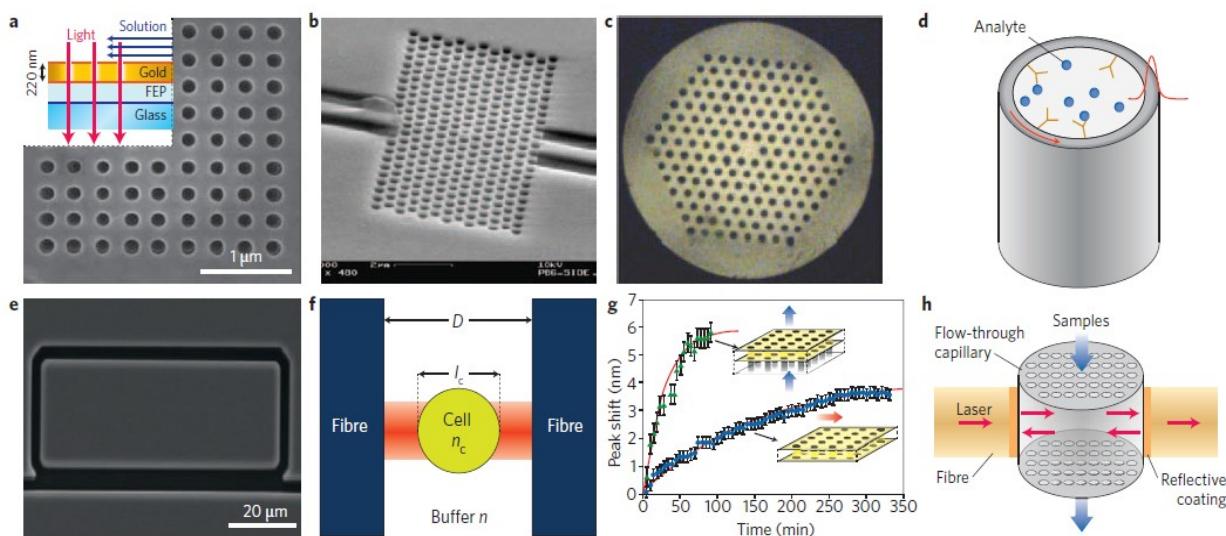
光流体反射率传感器基于主要由周期的金属或介质结构组成的等离子体，光子晶体或者光子晶体纤维可以被用来局限和引导光（图 1a–c）。这些结构中的空隙是固有的极好的微流体通道，用来填充用于生物/化学传感的流体样本。一个表面探测灵敏度为 1 纳米量级（也就是说，分子附着物上的每纳米对应 1 nm 的光谱移动，传感器表面每增加 1 nm 的高度对应生物分子上附着物每平方毫米接近 1 纳克）已经被证明。在这种方案中极小的有效传感区域允许亚微微克生物分子可以被探测。不幸的，在实际操作中，这种空前的探测能力常常受限于未成熟的样品传输系统，这种系统常常无法有选择性地传递光与物质相互作用最强处的分析结果。

研究者们最近报道了光流体技术，该技术用一个简单且可重复样品传输的微流体通道集成的光子设备。光流体环形谐振腔就是这种光流体前沿的一个例子。光流体环形谐振腔已经被发现用薄壁圆柱形毛细管，芯片上的自组装管，玻璃微泡和反共振反射光学波导。光流体环形谐振腔保留了出色的环形谐振腔的传感能力同时也结合了微流体结构。研究者们利用光流体环形谐振腔去

探测各种各样的化学和生物样品，范围从如维生素的小分子到如过滤性霉菌粒子的大物种。这种方案可实现的探测灵敏度对于体反射率探测在每单位反射率  $570\text{nm}$  左右，探测极限分别为  $10^7\text{RIU}$  和  $1\text{ pg mm}^{-2}$ 。一个光流体法布里珀罗腔传感器类似于一个光流体环形谐振腔，流体通道是传感腔的一部分。法布里珀罗传感器探测整个样品体积能够整体探测，这对于细胞探测十分有用（图 1f）。用这种方法，绍等人从正常细胞中区分出了淋巴瘤细胞。

甚至当与微流体样品传感系统结合时，光子传感器面临的一个问题是传送大量目标分子到传感器表面。最近，研究者们用一个光流体“流通”策略通过大量光学传感器实验来缓解团质量传送问题，以取代“流过”技术。这项光流体技术集合了纳米流体通道穿过光学传感结构以至于整个样品直接与传感表面相互作用。对于传感表面的大量传输是几乎全部传送的（而不是分散的），这相比于传统的流过传感器在更少的时间内提供了一个更强的信号。由纳米孔阵列组成的照相平板制成的等离子体纳米流体传感器和光子晶体纳米流体传感器（图 1g）。晶片基底是背部刻蚀所以液体可以透过薄的带孔的金属或介质薄膜。研究者们已经实现了体反射率灵敏度  $600 \text{ RIU nm}^{-1}$  和表面附着灵敏度  $2 \text{ nm nm}^{-1}$ ，对于体积溶液和小分子相对于已建立的流过方法分别有 14 倍和 6 倍的大量传输率增强（图 1g）。郭等发展出一种交替的流通设计，如图 1h 所示。在一个毛细管中成千上万的亚微米尺寸的孔形成纳米流体通道和部分法布里珀罗腔。这种光纳流体传感器类似于一个纳米多孔的传感器，除了它利用拉伸的方法制成流通孔。因此，它展现出一个高表面聚集灵敏度 ( $10 - 20 \text{ nm nm}^{-1}$ ) 由于大的表面体积比，相比于传统的纳米多孔传感器实现更有效的样品传输。

研究者们已经通过把光流体反射率传感器与传统化学科技例如色谱分析法和电泳结合增强样品分析能力。这种融合常常允许结果装置作为一个分离的圆柱和柱上检测器运行，这允许分离的被分析物能够被实时监测和将微流体的连接降到最小。王和朱研发了柱上光流体反射率传感器利用背面散射干涉仪和薄壁毛细管光流体环形谐振腔——都是当被分析物通过监测区域时测量在任何沿着圆柱的已被预先决定的位置的体反射率。



**Figure 1 | Various optofluidic devices used in RI detection.** **a**, Metallic nanohole-array-based plasmonic sensor<sup>21</sup>. **b**, Dielectric planar photonic crystal sensor<sup>22</sup>. **c**, PCF-based sensor<sup>30</sup>. **d**, Capillary-based OFRR sensor. **e**, ARROW-based OFRR<sup>40</sup>. **f**, Fabry-Pérot interferometric sensor for cell detection<sup>42</sup>. **g**, Flow-through and flow-over plasmonic sensors, together with each system's sensing response<sup>8</sup>. **h**, Fabry-Pérot sensor with flow-through micro- and nanofluidic channels<sup>10</sup>. Figure reproduced with permission from: **a**, ref. 21 © 2008 ACS; **b**, ref. 27 © 2007 OSA; **c**, ref. 30 © 2006 OSA; **e**, ref. 40 © 2010 AIP; **f**, ref. 42 © 2007 AIP; **g**, ref. 8 © 2009 ACS; **h**, ref. 10 © 2011 AIP.