

大阪府立大学许岩教授：纳流控—材料科学的新舞台

纳流控与材料科学的融合为材料研究提供了一个崭新的舞台。作为这个领域的探路者，大阪府立大学许岩教授受邀在近期(2017年11月2日)出版的 *Advanced Materials* 网络版上发表了对这个领域的鸟瞰、进展述评以及展望。

纳流控科学与技术(Nanofluidics; 以下简称“纳流控”)是研究和应用纳米通道或纳米结构(特征尺寸通常数纳米到数百纳米)中流体特性的一个新兴的领域。纳流体现象虽然在过去的几十年里在膜科学、胶体科学以及化学工程等领域偶尔被涉及和讨论,但却从来没有像现在这样广受关注。这缘于近年纳米加工技术的发展,使得在玻璃等材质的基板上加工结构控制良好的纳米通道、纳米孔等结构成为可能。这些典型的固体结构构成了新型的芯片—纳流控芯片—技术的结构核心(图1)。这种通常为透明平板型的芯片有一个重要的特点,那就是可以与一些现有的化学、生物、物理等技术和工具兼容。因此,纳流控芯片技术提供了一种新型的实验平台,使得具有不同背景的科学家可以参与到纳流控的研发之中。随着近年一些纳流控研究的新方法和新手段的逐渐出现,以可控、可重现、可预测的方式来探索和应用纳流体输送现象和相关特性逐渐成为可能。

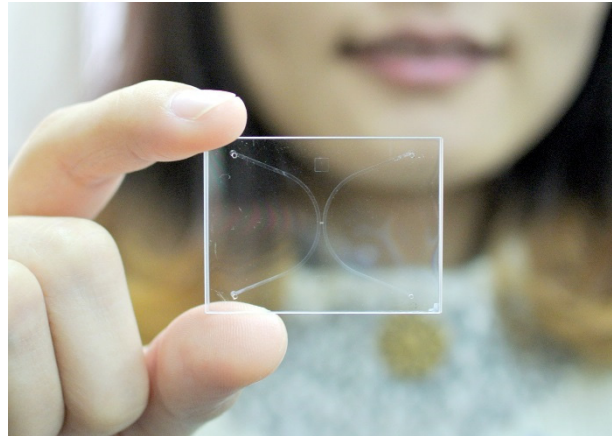


图1.纳流控芯片
(两条弧形的微米通道搭接纳米通道)

从尺度上看,纳流控通常被认为是从微流控演变而来的领域,但从物理机制上看,又显然不仅仅是其简单的延伸。这是因为,在宏观尺度及微米尺度下未被观察到的新的物理现象和机制(比如,离子输送的非线性,粘度、介电常数等水的性质的改变等)开始在纳米尺度出现,并占据主导地位(图2)。这开辟了一个探索流体科学和应用的崭新天地。近年,虽然这些新的物理现象和机制被深入研究,但以纳流控技术为核心的重要

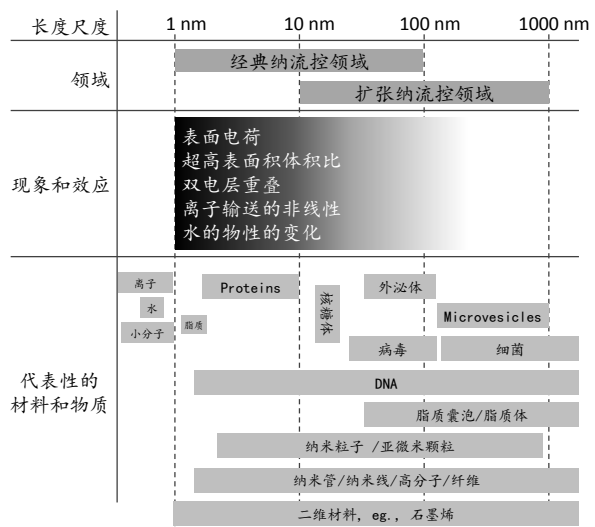


图2.纳流控领域关联物理现象与效应,以及相同尺度下代表性的材料和物质

应用却屈指可数。与其“风华正茂”的“兄弟”微流控相比，纳流控领域仍处于“孩提”时期。这主要是由于纳米通道极其微小且封闭，广泛应用于微流控和开放体系纳米研究的各种技术和手段很难直接应用于纳流控领域。加工技术、流体控制技术、功能集成技术以及检测技术的缺乏，使得整个纳流控领域停滞在单纯的“纳流”现象的研究阶段，而纳流控的“控”的精髓无法实现。这些都极大地阻碍着整个纳流控领域向着发挥和实现其潜力以及与其他学科融合的前进步伐。为解决上述关键课题和挑战，大阪府立大学许岩教授带领的团队近几年取得多个相关技术突破，以独特的“Nano-in-Nano 集成”方法论，通过在纳米通道中创新性地构筑纳米材料界面和功能部件，建立了一系列面向纳流控的纳米加工 (Xu Y., *Lab Chip*, 2015, 15, 1989; Xu Y., *Lab Chip*, 2015, 15, 3856; Xu Y., *RSC Adv.*, 2015, 5, 50638; Xu Y., *Lab Chip*, 2013, 13, 1048; Xu Y., *Anal. Bioanal. Chem.*, 2012, 402, 1011)、流体控制 (Xu Y., *Adv. Mater.*, 2016, 28, 2209)、功能集成 (Xu Y., *Small*, 2015, 11, 6165)、分子捕捉及检测 (Xu Y., *Lab Chip*, 2015, 15, 1989) 等的方法和技术，初步实现了纳流控的“控”的精髓，为纳流控与其他学科（特别是材料科学）的融合开拓了道路。

俯瞰整个纳流控领域，近 10 年相关研究虽然已经取得了显著地进展，但是要将现在以揭示物理现象为中心的研发阶段推进到未来面向应用的研究阶段，仍然需要克服一系列巨大的挑战。这些挑战对于具有不同背景的科学家来说同时也是巨大的机遇。我们期待材料科学会在纳米加工方面一如既往地继续发挥其关键作用之外，还会在纳流控研究的很多其他方面扮演重要角色。例如，可控的纳流体环境会为探索材料潜力和创造新材料提供前所未有的崭新舞台。如果能将不同材料和前述的纳米通道内各种独特的纳流体物理现象和效应巧妙地结合，并同时充分地利用那些与材料性质息息相关的纳米通道的极微小空间特征（例如，超高表面积体积比、超短扩散长度、超短传热距离等），那么我们就有充分的理由预测，在这个新舞台上，我们不但可能开发出一系列材料合成的崭新手法，而且还可能实现一些在宏观及微米尺度下无法获得的材料性能的飞跃。此外，如图 2 所示，很多我们非常感兴趣的重要的纳米材料或物质都与纳流体处于大致相同的尺度。因此，借助纳流控，我们非常期待可以实现在前所未有的时空分辨率下，对这些纳米材料或物质（甚至小分子）进行“单个的”分离、检测、操纵、组装、甚至反应。同时，在纳米通道中对各种功能性纳米材料进行组装和操纵，将反过来为纳流控提供更多的附加功能，这将有望大大提高我们利用纳流控来创建多功能新系统和应用方面的能力。

在过去的几年，包括许岩教授在内的多国科学家已经对材料科学与纳流控相结合进行了一些初步的探索。经管并不是很多，但足以令人欣喜。作为这个领域的探路者，许岩教授受邀在近期(2017 年 11 月 2 日)出版的 *Advanced Materials* 网络版上发表了对这方面的鸟瞰、进展述评以及展望 (Xu Y., *Adv. Mater.*, doi: 10.1002/adma.201702419)。其中，进展述评的内容涵盖相关的主要的五个研究方向

(图 3), 即, 纳流控芯片制备的新材料和新方法, 纳流控表面的功能性材料修饰, 纳流控的功能性材料部件集成, 基于纳流控的生物物质及纳米材料操纵, 以及基于纳流控的纳米材料合成与制备。同时, 许岩教授对这个新舞台面临的许多关键性挑战以及提供的巨大机遇也进行了讨论。在这篇文章最后, 许岩教授坚信材料科学将在未来的纳流控发展中发挥至关重要的作用, 并呼吁更多的材料科学家参与到这个新舞台。因为如果没有材料科学家的参与, 上述的那些挑战将难以解决。



图 3.纳流控与材料科学的融合

论文信息

Yan Xu, Nanofluidics: A New Arena for Materials Science, *Advanced Materials*, doi: 10.1002/adma.201702419

链接: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201702419/full>

许岩教授的简介:

许岩教授供职于日本大阪府立大学化学工程系, 是该校纳流控科学与技术实验室的首席科学家。本科毕业于大连理工大学(2001年), 在中国科学院大连化学物理研究所取得硕士学位后(2004年), 在东京大学取得博士学位(2007年)。许岩教授研究小组的研究领域涉及纳流控基础和纳流控技术在化学、生物学、医学以及材料科学的应用, 并致力于研发面向单细胞组学, 单分子化学, 生物材料以及纳米医学的纳流控新方法和新技术。

许岩教授研究室主页: <http://www.chemeng.osakafu-u.ac.jp/group8/index-e.html>