

框架核酸：从分子创造到智能制造

樊春海

上海交通大学转化医学研究院，化学化工学院 fanchunhai@sjtu.edu.cn

分子机器是指分子构成，并在外来能量驱动下产生机械运动而行使特定功能的纳米机器。在生物体内，核酸、蛋白质等生物大分子通过氢键、疏水力等弱相互作用自组装成天然的分子机器，行使了各种生物学功能。而如何通过化学或生物分子的设计、合成、组装来模仿天然分子机器，创制出纳米尺寸、动态驱动、智能识别的人工分子机器，则是分子工程领域的重大科学问题。2016年诺贝尔化学奖授予了分子机器领域的三位先驱：索维奇，司徒塔特和费林加。然而，当前人工分子机器所达到的精巧和多样化程度远不能与天然分子机器相比拟。例如，生物传感是利用生物特异性识别过程来实现生物检测的分析方法。而人工的生物传感器在识别能力、灵敏度、特异性等各方面都远远逊色于生物体内的天然传感器（“分子机器”）。这就促使我们继续向自然学习，用“多元、协同”的理念来制造智能分子机器，或纳米机器人。

DNA 纳米技术的蓬勃发展则为制造这样的分子机器提供了新的可能。DNA 纳米技术旨在利用 DNA 分子卓越的自组装和识别能力，将其作为一种纳米材料实现精确的自底向上(bottom-up)的纳米构筑，从而设计各种功能纳米结构。利用自然界赋予 DNA 分子的自我识别和精确组装能力可以从底向上组装出各种均一性好、结构精巧和功能可设计的框架核酸(Framework Nucleic Acids)结构。相对于通常的无机纳米结构而言，这些框架核酸不仅制备简单、结构可控，而且易于实现精确的生物功能化。尤其是将框架核酸与无机纳米粒子结合起来，可以进一步拓宽分子机器的功能多样性。本报告中将结合本实验室在利用框架核酸开展纳米构筑、单分子分析和纳米机器人方面的工作。

参考文献：

1. X. Qu, S. Wang, Z. Ge, J. Wang, G. Yao, J. Li, X. Zuo, J. Shi, S. Song, L. Wang, L. Li, H. Pei, C. Fan, *J. Am. Chem. Soc.* 2017, 139, 10176.
2. J. Li, A. A. Green, H. Yan, C. Fan, *Nature Chem.* 2017, 9, 1056.
3. X. Liu, F. Zhang, X. Jing, M. Pan, W. Li, B. Zhu, J. Li, H. Chen, L. Wang, J. Lin, Y. Liu, D. Zhao, H. Yan, C. Fan, *Nature* 2018, 559, 593.
4. J. Chao, J. Wang, F. Wang, X. Ouyang, E. Kopperger, H. Liu, Q. Li, J. Shi, L. Wang, J. Hu, L. Wang, W. Huang, F. C. Simmel, C. Fan, *Nature Mater.* 2019, 18, 273.
5. G. Yao, J. Li, Q. Li, X. Chen, X. Liu, F. Wang, Z. Qu, Z. Ge, R. P. Narayanan, D. Williams, H. Pei, X. Zuo, L. Wang, H. Yan, B. L. Feringa, C. Fan, *Nature Mater.* 2020, 19, 781.



樊春海，上海交通大学王宽诚讲席教授，中国科学院院士。1996年本科毕业于南京大学，2000年博士毕业于南京大学，2001-2003年在圣芭芭拉加州大学从事博士后研究。2004-2018年任中国科学院上海应用物理研究所研究员，中国科学院特聘研究员。2018年起任上海交通大学化学化工学院教授，附属仁济医院分子医学研究院常务副院长，上海市核酸化学与纳米医学重点实验室主任。

2004年入选中国科学院百人计划，2007年获得国家杰出青年基金资助，2012-2016年任科技部纳米973首席科学家。入选美国科学促进会(AAAS)、国际电化学学会(ISE)、和美国医学和生物工程院(AIMBE)和英国皇家化学会(RSC)会士，兼任 ACS Applied Materials & Interfaces 副主编，ChemPlusChem 编委会共同主席。已在 Nature, Nature、Science 子刊等发表论文 500 余篇，引用约 4 万次，H 因子 98，近六年连续入选“全球高被引科学家”。部分成果获 2016 年国家自然科学二等奖(第一完成人)，并获 2019 年度何梁何利基金科学和技术创新奖、美国化学会“测量科学进展讲座奖”和第十二届“谈家桢生命科学创新奖”。

Chunhai Fan is a SJTU K. C. Wong Chair Professor in the School of Chemistry and Chemical Engineering at Shanghai Jiao Tong University (SJTU). He is a member of the Chinese Academy of Sciences (CAS academician), a fellow of American Association for the Advancement of Science (AAAS), Royal Society of Chemistry (FRSC), American Institute of Medical and biological Engineering (AIMBE) and International Society of Electrochemistry (ISE). He is an Associate Editor of ACS Applied Materials & Interfaces, and serves as a Co-Chair on the editorial board of ChemPlusChem. Dr. Fan has published more than 400 papers in peer-reviewed journals (with ~40,000 citations and H-index of 98), and was recognized as Highly Cited Researchers by Clarivate Analytics. His work has been recognized by many awards including National Natural Science Prize of China (2016), National Award for Young Scientists of China (2011), The Ho Leung Ho Lee Foundation Prize for Scientific and Technological Innovation (2019) and Advances in Measurement Science Lectureship Award in American Chemical Society (2019).