薄膜荧光传感

刘鸣华

中国科学院化学研究所, 北京 100190

Film-Based Fluorescence Sensing

Minghua Liu

Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China.

Email: liumh@iccas.ac.cn

Published online: December 16, 2020.

薄膜荧光传感的三种可能机理。

不同于其它探测技术, 荧光以激发态实现传感。因此, 荧光传感具有灵敏度高、可设计性好、仪器结构相对简单、能耗低、不涉及放射性源、易于实现便携等优点, 受到了人们的特别关注^{1,2}。薄膜荧光传感是荧光传感的一种重要形式, 是继离子迁移谱技术之后最具发展潜力的可实现便携的气相微量物质探测技术。敏感薄膜创制是薄膜荧光技术的核心, 薄膜性能主要取决于决定传感发生机制的传感单元, 以及影响传感对象分子吸附、解析和扩散的活性层(adlayer)结构。一般而言, 传感可经由三种机制发生, 一是传感单元与传感对象分子间的传能, 二是传感单元与传感对象分子间的特异结合或反应, 三是传感对象分子对传感单元微环境的扰动。需要指出的是, 无论传感经由那种机制发生, 传感单元所在活性层的结构都

极大地影响着薄膜的传感性能, 特别是传感响应动力学。因此, 传感单元结构创新和活性层结构控制制备对于高性能荧光敏感薄膜的创制具有决定性意义。

基于上述理念, 陕西师范大学房喻教授团队提出了综合利用“荧光单元激发态对微环境的敏感性”、“活性层微纳结构的毛细效应”, 以及“吸附、解析、扩散动力学”设计制备高性能荧光敏感薄膜的思想, 并首次将传感响应动力学用于区分检测³。在工作中, 他们以高稳定茈二酰亚胺(PBI)、碳硼烷芳烃衍生物等为核心结构, 设计制备了一系列溶解性好, 具有非平面结构特点的荧光小分子, 以其为传感单元构建了多种富含分子通道的荧光薄膜, 实现了对爆炸物(含液体爆炸物)、毒品、BTEX(苯、甲苯、乙基苯、二甲苯)、

尼古丁、甲醇等重要化学物质和湿度³⁻⁵的气相灵敏可逆探测。以四配位8-羟基喹啉硼为基本结构单元,设计制备了多种包含非平面结构节点的交替共聚型荧光聚合物和以其为基础的高性能胃癌标志物正戊烷气相灵敏可逆探测薄膜⁶。

与美国犹他大学Stang教授合作,房喻教授团队通过配位组装构建了多种包含PBI片段,具有非平面结构特点的环状、笼状荧光分子,实现了分子内PBI片段间激子耦合的调控,发展了芳胺等有毒有害化学品的高性能荧光传感薄膜^{7,8}。在对新型传感单元研究过程中,房喻教授团队还首次发现了溶液中芳烃-氢(Ar-H)参与的分子内弱氢键作用⁹。最近,房喻教授团队利用动态共价键化学,在界面限域条件下制备得到了多种自支撑、无缺陷、结构明确的荧光薄膜,实现了对假酒的非浸入式可靠区分检测¹⁰。这一薄膜制备策略的引入为活性层结构的控制制备、为传感响应动力学的模型研究,以及为柔性薄膜荧光传感研究奠定了坚实的基础。

上述研究极大地推动了薄膜荧光传感技术的发展,彰显了需求牵引下的传感单元结构创新、活性层结构控制制备,以及物质迁移研究的重要意义。

References

- (1) Ding, L.; Fang Y. *Chem. Soc. Rev.* **2010**, 39, 4258. doi: 10.1039/C003028G
- (2) Swager, T. M.; Mirica, K. A. *Chem. Rev.* **2019**, 119, 1. doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00764
- (3) Liu, K.; Shang, C.; Wang, Z.; Qi, Y.; Miao, R.; Liu, K.; Liu, T.; Fang, Y. *Nat. Commun.* **2018**, 9, 1695. doi: 10.1038/s41467-018-04119-6
- (4) Liu, T.; Miao, R.; Peng, H.; Liu, J.; Ding, L.; Fang, Y. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2020**, 36, 1908025. [刘太宏, 苗荣, 彭浩南, 刘静, 丁立平, 房喻. 物理化学学报. **2020**, 36, 1908025.] doi: 10.3866/PKU.WHXB201908025
- (5) Wang, Z.; Wang, G.; Chang, X.; Liu, K.; Qi, Y.; Shang, C.; Huang, R.; Liu, T.; Fang, Y. *Adv. Funct. Mater.* **2019**, 25, 1905295. doi: 10.1002/adfm.201905295
- (6) Qi, Y.; Xu, W.; Kang, R.; Ding, N.; Wang, Y.; He, G.; Fang, Y. *Chem. Sci.* **2018**, 9, 1892. doi: 10.1039/C7SC05243J
- (7) Chang, X.; Zhou, Z.; Shang, C.; Wang, G.; Wang, Z.; Qi, Y.; Li, Z.-Y.; Wang, H.; Cao, L.; Li, X.; Fang, Y.; Stang, P. J. *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, 141, 1757. doi: 10.1021/jacs.8b12749
- (8) Chang, X.; Lin, S.; Wang, G.; Shang, C.; Wang, Z.; Liu, K.; Fang, Y.; Stang, P. J. *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, 142, 37, 15950. doi: 10.1021/jacs.0c06623
- (9) Shang, C.; Wang, G.; Liu, K.; Jiang, Q.; Liu, F.; Chou, P.-T.; Fang, Y. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, 59, 8579. doi: 10.1002/anie.201914070
- (10) Han, T.; Yang, J.; Miao, R.; Liu, K.; Li, J.; Wang, D.; Liu, T.; Fang, Y. *Adv. Mater. Technol.* **2020**, 2000933. doi: 10.1002/admt.202000933