两性凝胶电解质中的离子通道：通往全固态超级电容器

刘鸣华

(国家纳米科学中心, 北京 100190)

面对日益增长的能源需求, 超级电容器因其高运行寿命和高功率密度成为理想的选择¹。而凝胶电解质由于它在构建固态超级电容器时兼具有电解质、隔膜、粘合剂的作用而成为关键技术材料²。为了实现全固态超级电容器快速充放电和高稳定性的需求, 发展兼具高离子电导率、优良机械强度和保水性能等诸多优势的新型凝胶电解质, 是当前该领域的重要科学问题。其核心和关键在于如何在凝胶电解质中构建有序离子通道以及理解其内在电化学机制³。

面对这个挑战, 中国科学技术大学吴长征教授课题组基于两性凝胶电解质 PPDP(聚(丙基磺酸盐二

甲基铵丙基甲基丙烯酸酯))有序两性基团形成独特的离子通道, 将其成功应用于高效全固态超级电容器。近期的 *Nature Communications* 杂志⁴以 A zwitterionic gel electrolyte for efficient solid-state supercapacitors 为题, 报道了该团队的突出进展。

同步辐射软 X 射线近边吸收谱证实了两性凝胶电解质在外加电场的情况下两性基团具有有序性, 能够形成独特的离子通道以有利于凝胶电解质中盐离子的传输⁵。同时, 每个两性基团可以与 8 个水分子结合形成水化层, 使电解质 PPDP 具有良好的保水特性⁶(见图 1)。不仅如此, 聚两性电解质会因为通过 dipole–dipole 相互作用在两性基团间

图1 两性PPDP凝胶电解质在外电场下的示意图

(a) 当PPDP凝胶电解质在应用于电极材料上时, 外界电场会使得它形成离子通道; 同时, PPDP会因为它的两性基团和水分子之间产生的明显水化作用而具有很好的保水能力。(b) PPDP样品在外加电场后的C的K边X射线近边吸收谱

形成物理凝胶, 确保了聚两性电解质在形成凝聚后能够有一定的机械强度。构建的石墨烯基全固态超级电容器, 在 $0.8 \text{ A} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的电流密度下, 实现了 $300.8 \text{ F} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的比容量, 并且电流密度增大 25 倍之后, 仅有 14.9% 的比容量损失, 达到了目前石墨烯基全固态超级电容器的最优值。构建有序离子通道为设计新型高效能源存储器件提供了新思路。

References

- (1) Peng, X.; Peng, L. L.; Wu, C. Z.; Xie, Y. *Chem. Soc. Rev.* **2014**, 43, 3303. doi: 10.1039/C3CS60407A
- (2) Lu, X. H.; Yu, M. H.; Wang, G. M.; Tong, Y. X.; Li, Y. *Energy Environ. Sci.* **2014**, 7, 2160. doi: 10.1039/C4EE00960F
- (3) Wang, G. M.; Lu, X. H.; Ling, Y. C.; Zhai, T.; Wang, H. Y.; Tong, Y. X.; Li, Y. *ACS Nano* **2012**, 6, 10296. doi: 10.1021/nn304178b
- (4) Peng, X.; Liu, H. L.; Yin, Q. Wu, J. C.; Chen, P. Z.; Zhang, G. Z.; Liu, G. M.; Wu, C. Z.; Xie, Y. *Nat. Commun.* **2016**, 7, 11782. doi: 10.1038/ncomms11782
- (5) Li, Z. R.; Zhang, L.; Resasco, D. E.; Mun, B. S.; Requejo, F. G. *Appl. Phys. Lett.* **2007**, 90, 103115. doi: 10.1063/1.2709506
- (6) Wang, T.; Wang, X. W.; Long, Y. C.; Liu, G. M.; Zhang, G. Z. *Langmuir* **2013**, 29, 6588. doi: 10.1021/la401069y