

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202005009

www.dxhx.pku.edu.cn

“无中生有”的化学

贾顺涵, 邱晓航*

南开大学化学学院, 天津 300071

摘要: 现代科学技术实现飞速发展, 化学和以化学为中心的诸多交叉学科功不可没。本文借用成语“无中生有”, 深入浅出地介绍前沿科技成果中蕴含的化学原理, 帮助化学相关专业本科生理解专业课学到的理论知识, 引导其关注学科发展前沿, 激发其对进一步了解科学研究的渴望。

关键词: 化学; 传感器; 多孔材料; 电化学

中图分类号: G64; O6

Chemistry from Nothing

Shunhan Jia, Xiaohang Qiu *

College of Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, P. R. China.

Abstract: Chemistry contributes a lot to the rapid development of science and technology. Herein, applying the concept of “chemistry from nothing”, we explained the principles in cutting-edge chemical achievements for undergraduates. Reading this article, they are supposed to understand the theoretical knowledge further and show more interested in the frontiers of chemistry.

Key Words: Chemistry; Sensor; Porous materials; Electrochemistry

进入 21 世纪以来, 科学技术日新月异的发展极大地提高了人们的生活水平。化学作为实现这些科技成果的幕后英雄之一, 为人们的幸福生活提供了强大的物质基础。在大学化学教育中, 激发学生的学习热情、提升学生的专业自信是教师们的重要任务。本文中, 我们尝试在化学前沿与基础理论之间搭建桥梁, 以深入浅出的语言帮助学生体会化学的神奇魅力。

化学是一门极具创造性的科学, 化学家们不仅致力于研究自然界已存在的物质, 也有能力不断创造出新的物质, 把很多看起来的“不可能”变成“可能”。就让本文带你一起去了解一下化学是如何“无中生有”吧!

1 助力医学诊治“无中生有”

与疾病的斗争贯穿在人类发展的历史中, 现代医学极大地提高了疾病的诊断率和治愈率。但是, 很多疾病的诊治需要抽血化验、注射针剂、服用药物甚至进行手术。这些医疗手段都给患者带来了巨大的痛苦。近来, 各类可穿戴柔性器件可在用户几乎无感知的情况下获取健康指标并进行给药治疗, 化验不抽血、注射不打针, 实现了医学诊治的“无中生有”。

随着人民生活水平的提高, 人们的生活方式发生改变, 糖尿病患病率大幅升高。根据国际糖尿

收稿: 2020-05-05; 录用: 2020-05-09; 网络发表: 2020-06-15

*通讯作者, Email: qiuxh@nankai.edu.cn

基金资助: 南开大学教学改革项目(NKJG2020154, NKJG2020335)

病联合会公布的数据,我国糖尿病人数为 1.144 亿,位居全球第一,且预计到 2045 年将高达 1.472 亿^[1]。我们知道,注射胰岛素是控制糖尿病的一个方法,很多患者通过自我监测、自行注射胰岛素来控制病情。

一种智能给药贴片^[2]为糖尿病患者带来了福音(图 1)。在硬币大小的贴片上,覆盖有百余个睫毛大小的微针,这些微针中含有胰岛素和葡萄糖传感酶存储单元,可以检测血糖水平的变化,并在需要的时候释放适当剂量的胰岛素进入血液。这种贴片有望使众多患者摆脱注射胰岛素的痛苦,显示出巨大的市场潜力。

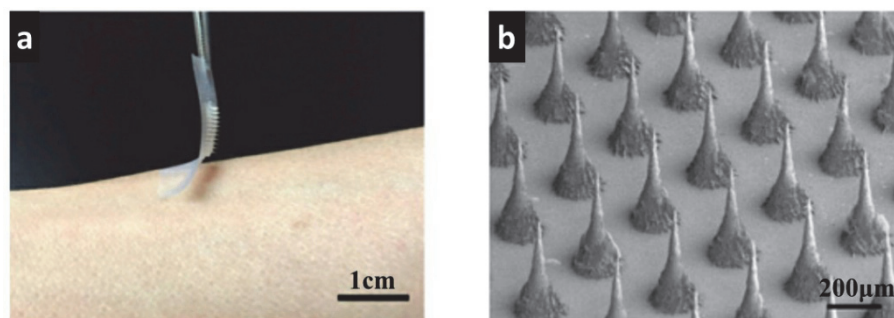


图 1 智能胰岛素贴片^[2]

(a) 贴片工作照片; (b) 微针阵列扫描电镜图像

那么问题来了:化学是如何帮助微针阵列实现血糖浓度的传感和胰岛素释放的呢?我们来解密一下藏在这个贴片中的化学原理。

贴片上的微针阵列中装有无数的微小囊泡,囊泡是大量两亲性分子(图 2a)自组装形成的:分子的亲水端向外,与外部水环境亲和;疏水端彼此靠近,聚集在囊泡内部。胰岛素和酶分子就被包裹在这些囊泡里(图 2b)。微针工作时,葡萄糖渗入囊泡,发生酶促氧化反应并消耗了囊泡中的氧气。低氧环境导致两亲性分子的疏水端发生还原反应,氧原子被氢原子取代,极性发生变化(图 2c),各分子疏水基团之间的亲密关系遭到破坏,囊泡因此发生破裂,藏在囊泡中的胰岛素也就被释放出去(图 2d)。葡萄糖浓度越高,这种破坏就越彻底,释放的胰岛素就越多。在这个过程中,正是通过氧化还原反应以及“相似相溶”这些神奇的化学作用,完成了控制胰岛素分子定量释放的使命。

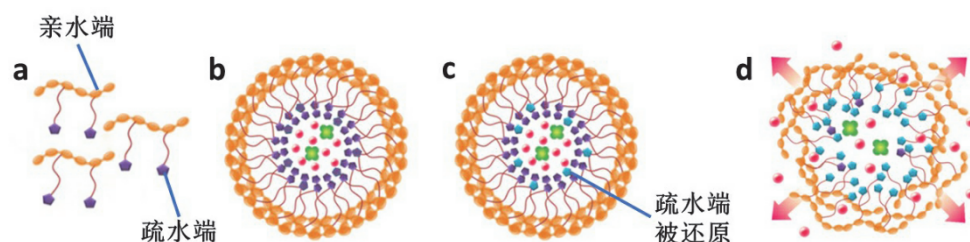


图 2 智能给药贴片的胰岛素传递系统示意图^[2]

检测身体的健康指标对普通人同样有用。图 3 是一种可供日常佩戴的手环,它可以通过用户体表的微量汗液实时、准确地监测人体血糖、心跳与体温等多种健康指标,帮助人们及时地评价健康状况、发现潜在的疾病,为用户的健康提供“无中生有”的保障。

这枚手环是一种集成式、可穿戴的汗液传感器^[3]。它的核心部件之一就是图 3b 中的传感器阵列模块。在这里,化学再次发挥了它的威力:汗液中含有钠、钾离子,其浓度与人体的健康指标密切相关,只要监测汗液中钠、钾离子浓度,将化学信号转换成电信号传递出来,再借助人工智能加以

分析,我们就可以在手机上看到各种健康指标数据了。而实现化学信号与电信号关联的桥梁,就是我们在“化学概论”或类似课程中一定学到过的熟悉的原电池原理。离子选择性电极(Ion-Selective Electrode, ISE)、参比电极(Ag/AgCl)和汗液分别构成了原电池中的两电极和电解质,能斯特方程帮助我们z把溶液中离子浓度和电极电势之间的关系定量表示出来,也就是将汗液中特定离子的浓度与传感器测得的电动势信号关联起来,离子浓度的变化就变成电信号了。

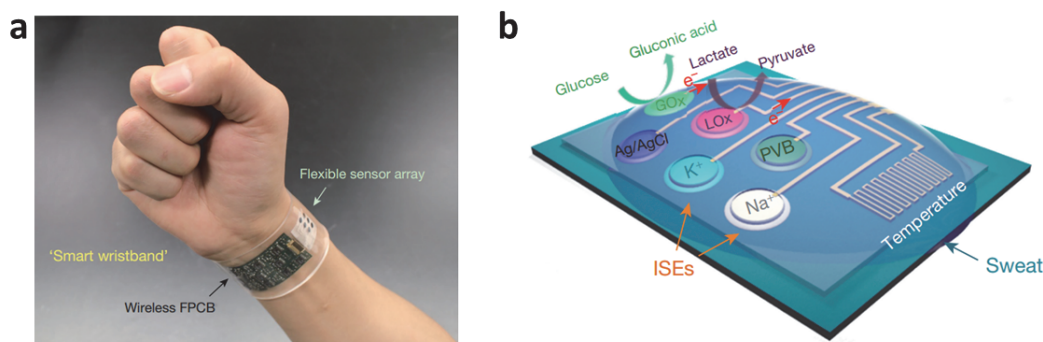


图3 集成式汗液传感器

(a) 可佩戴手环; (b) 手环中传感器阵列示意图^[3]

2 沙漠中生命之水“无中生有”

水是生命之源,而沙漠是干燥的代名词。在文学作品中我们经常会看到这样的场景:远赴沙漠的游客因找不到水源而濒临死亡。这时候如果有人送他一个宝贝,可以帮助他从干涸的沙漠中汲取清泉,该是多么幸福的事情啊。现在,这个有点“科幻”的场景正在科学家的手zhong变为现实。

图4a就是这样的宝贝,它是一种空气集水装置^[4]。即使在相对湿度低da 20%的沙漠中,只需要负载1 kg集水材料,它每天就可以从空气中提取到2.8 L纯净水,完全可以满足一个人的正常饮用需求。那么,这神奇的宝贝是如何工作的呢?

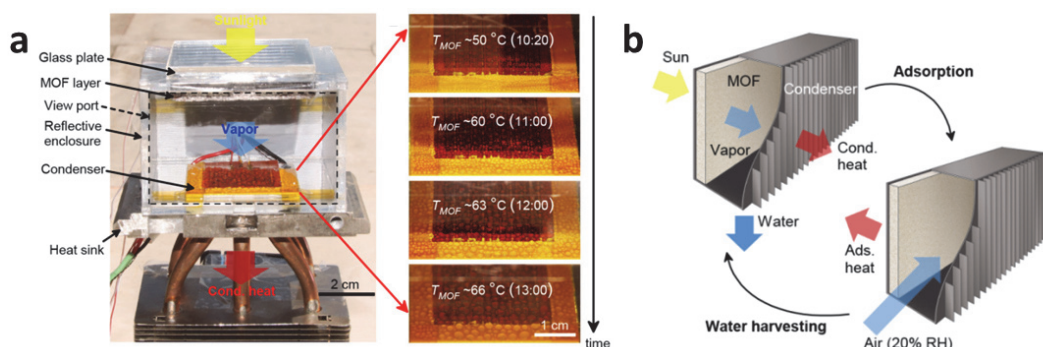
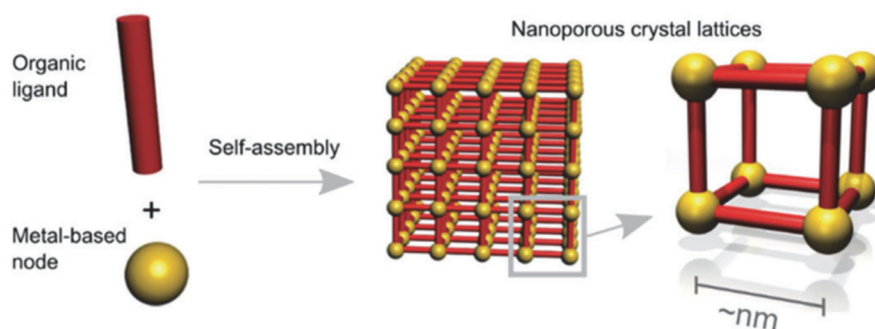


图4 MOFs集水器^[4]

(a) 空气集水器; (b) 工作原理示意图

从材料化学的角度看,集水的功能是利用金属有机框架(Metal-Organic Frameworks, MOFs)材料实现的。MOFs是有机配体和金属离子或团簇通过配位键自组装就可以形成具有极高比表面积的框架结构(图5),其最大的特点之一就是通过配位键实现结构单元的重复,也因此,MOFs也被一些学者称作“配位聚合物”。科学家们发现,MOFs及其衍生物和复合材料由于其独特的结构,在化学传感、生物医学、气体的储存与分离、多相催化以及能源储存与转化领域都具有广阔的应用前景^[5]。

图5 MOFs 形成过程的示意图^[5]

了解过 MOFs 的内部结构，我们再来分析这个集水器件——化学热力学的知识告诉我们，在等温等压反应中，如果吉布斯自由能为负，则正反应为自发，反之则逆反应自发。我们结合所学对图 4b 所示的集水器工作原理进行分析不难发现：水分子在气态和液态间自发地反复转换，都是相应环境下的热力学状态决定的。多孔材料表面与水分子相互作用，驱动着水分子吸附于其表面并释放出能量，使体系能量降低而获得稳定；水蒸发时会吸收热量，故白天时和多孔材料结合的水分子在吸收太阳能后解离并重新汽化；在集水器有限的空间内，水的分压强大于饱和蒸气压时，水滴就会凝结出来，供给用户使用。

3 大海中神秘能源“无中生有”

地球是一个蓝色星球，其中海洋覆盖了 70% 的面积，科学家们发现，海水中除了有大量我们熟悉的钠、钾、镁、氯之外，还有极其微量的铀元素！铀元素是一种重要的战略资源，早在 1939 年，科学家就发现了铀核原子裂变的现象。这个突破性的发现为铀在原子反应堆和原子弹燃料中的应用奠定了基础。作为极具前途的人工核燃料，铀化学，尤其是铀的提纯成为科学家们研究的重要课题^[6]。因而从海水中把这几乎不存在的铀提炼出来，具有重要的战略意义。斯坦福大学教授崔屹教授团队开发了一种电化学方法，就可以实现这个“无中生有”^[7]。

同学们对电解池的工作原理一定不陌生：电流通过电解质而在阴、阳两极引起还原氧化反应。一方面，电解过程可以将电能转化为化学能储存起来，我们给手机、平板电脑等电子设备充电就是一个典型的例子；另一方面，伴随着电解过程的氧化还原反应也可以帮助人们完成物质转化。在这个“无中生有”的魔术游戏中，研究人员巧妙地利用交替变化的脉冲电压来进行电解。如图 6 所示，电路导通时， UO_2^{2+} 离子和杂质离子在电场的作用下一起迁移到电极表面，电极表面的化学修饰基团选择性吸附 UO_2^{2+} 离子，并迅速将其还原生成 UO_2 沉积下来；随即电路关闭，杂质粒子远离电极，回到溶液中。电路在导通和关闭之间快速转换，极其微量的铀就被一点一点富集下来了。

4 结语

诚然，所谓“无中生有”的背后都严格遵循着物质、能量守恒等各类科学原理，也蕴含着化学家们对未来世界的美好构想：向无痛医疗方向的努力，体现着人道主义的医学精神；实现空气集水、海水提铀，正是发展环境友好与绿色化学的最好见证；以人工智能技术助力实验数据的高效获取与深度利用，是化学科学与其他学科相互渗透，在面向产业化改进自身的积极尝试。

人类文明和社会发展不曾离开过化学，化学也必将作为自然科学中唯一具有产业特征的基础学科，一如既往地利用物质和能量的传递与转化原理，实现规模化制造，构建未来人类与社会赖以生存和发展的物质基础。

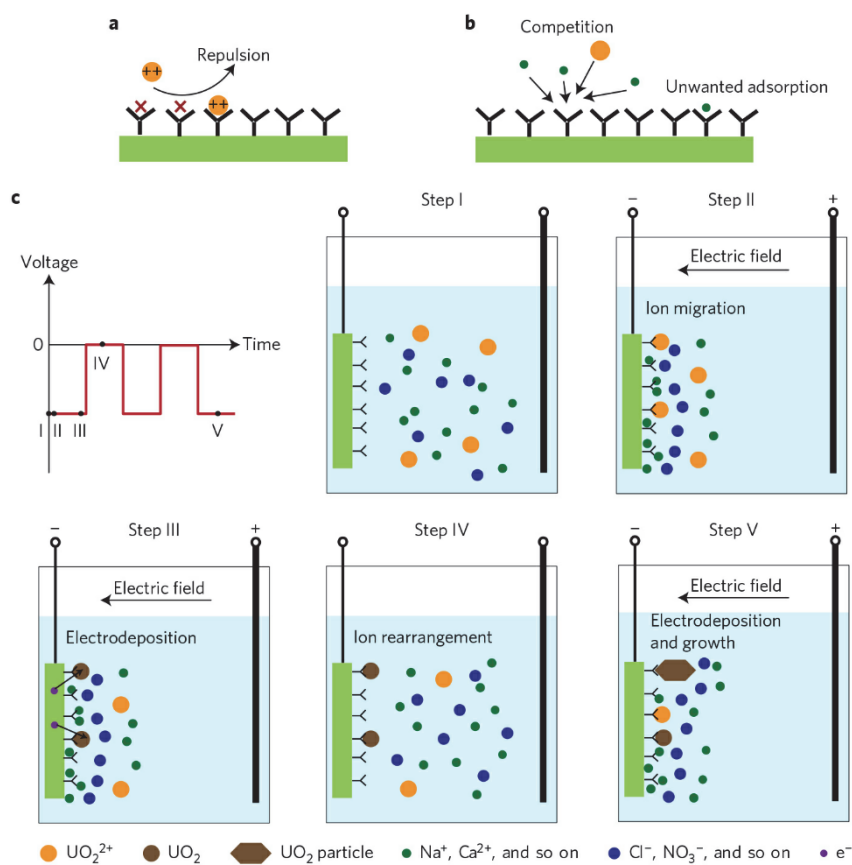


图6 电化学法提取铀氧化物的原理示意图^[7]

参 考 文 献

- [1] IDF Atlas 9th Edition and Other Resources. [2020-04-01]. <https://www.diabetesatlas.org/en/resources/>.
- [2] Yu, J.; Zhang, Y.; Ye, Y.; DiSanto, R.; Sun, W.; Ranson, D.; Ligler, F. S.; Buse, J. B.; Gu, Z. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2015**, *112* (27), 8260.
- [3] Gao, W.; Emaminejad, S.; Nyein, H. Y. Y.; Challa, S.; Chen, K.; Peck, A.; Fahad, H. M.; Ota, H.; Shiraki, H.; Kiriya, D.; *et al. Nature* **2016**, *529*, 509.
- [4] Kim, H.; Yang, S.; Rao, S. R.; Narayanan S.; Kapustin, E. A.; Furukawa, H.; Umans, A. S.; Yaghi, O. M.; Wang, E. N. *Science* **2017**, *356*, 430.
- [5] Stassen, I.; Burtch, N.; Talin, A.; Falcaro, P.; Allendorfc, M.; Ameloot, R. *Chem. Soc. Rev.* **2017**, *46*, 3185.
- [6] 刘元方, 江林银. 无机化学丛书 第十六卷 放射化学. 北京: 科学出版社, 1988: 59–65.
- [7] Liu, C.; Hsu, P.-C.; Xie, J.; Zhao, J.; Wu, T.; Wang, H.; Liu, W.; Zhang, J.; Chu S.; Cui, Y. *Nat. Energy* **2017**, *2*, 17007.