

· 学科进展与展望 ·

仿生材料与器件

——第45次“双清论坛”综述

江雷^{1,2*} 张希^{3*} 刘克松¹

(1 北京航空航天大学化学与环境学院, 北京 100191; 2 中国科学院化学研究所, 北京 100190;
3 清华大学化学系, 北京 100084)

[摘要] 2010年1月25—29日国家自然科学基金委员会第45期“双清论坛”——“仿生材料与器件”学术研讨会在海南省三亚市举行。来自20余所著名高校和研究机构的50余位化学、仿生科学、生物学、材料学、纳米科学、生命科学等领域的专家、学者出席此次论坛。出席会议的专家、学者中有13位中国科学院院士,10位国家重点基础研究发展计划(“973”计划)首席科学家。围绕“仿生材料与器件”这一主题,结合国际在仿生领域的研究前沿和国家重大需求,与会专家从不同角度就仿生材料与器件的研究现状和发展趋势进行了深入交流与研讨,并对该领域今后的优先发展方向提出了若干建议。

[关键词] 仿生材料, 仿生器件, 双清论坛

国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)主办的第45期“双清论坛”于2010年1月25—29日在海南省三亚市召开。本次论坛由北京航空航天大学化学与环境学院承办。论坛主题为:仿生材料与器件。中国科学院化学研究所/北京航空航天大学江雷院士担任主席,清华大学张希院士担任副主席。

来自自然科学基金委、国家教育部、国家科技部、中国科学院、海南省科技厅等单位的领导以及来自清华大学、吉林大学、中国科技大学、复旦大学、上海交通大学、北京航空航天大学、南京大学、东南大学、中山大学、四川大学、武汉大学、海南大学、中国科学院化学研究所、中国科学院理化技术研究所、中国科学院上海微系统信息技术研究所以及中国科学院长春应用化学研究所等20余所著名高校和研究机构的50余位化学、仿生科学、生物学、材料学、纳米科学、生命科学等领域的专家、学者出席此次论坛。出席会议的专家、学者中有13位中国科学院院士,10位国家重点基础研究发展计划(“973”计划)首席科学家。

1 仿生学简介

自然界中的动物和植物经过45亿年长期的进化,其结构与功能已达到近乎完美的程度,实现了结构与功能的统一,局部与整体的协调和统一。向自然学习是原始创新科学研究的源泉,是创造新材料和新器件的重要途径。

向自然学习的理念包括仿生(biomimetic)和受生物启发(bio-inspired)两个层面。从20世纪50年代以来,人们已经认识到生物系统是开辟新技术的主要途径之一,自觉地把生物界作为各种技术思想、设计原理及创造发明的源泉。通常认为,1960年美国召开的第一届仿生学讨论会是仿生学诞生的标志。仿生学一词是1960年由美国斯梯尔(Jack Ellwood Steele)根据拉丁文“bion”(“生命方式”的意思)和字尾“ic”(“具有……的性质”的意思)构成的。1963年我国将“Bionics”译为“仿生学”,它是研究生物系统的结构、性状、原理、行为以及相互作用,从而为工程技术提供新的设计思想、工作原理和系统构成的技术科学。简言之,仿生学就是模仿生物的科学。

* 中国科学院院士。

本文于2010年3月15日收到。

仿生学是化学、生命科学、数学、物理学、力学、材料学、纳米科学、工程技术学等学科相互渗透而结合成的一门新兴学科。其研究内容可主要划分为以下3个层面:(1)了解自然材料的组成、结构、性质及变化等;(2)揭示自然界中生命物质结构与功能的本质关系,为仿生材料和器件的合成与构筑提供指导和理论依据;(3)利用获取的生物系统设计原理设计和制造新材料和新器件。

2 国外研究概况

仿生科学自上世纪发展以来所取得的成就及对其他领域的影响和渗透一直引人关注。近年来,世界各国在仿生材料和器件方面都精心制订了相应的中长期规划,投入了巨额资金,成立专门机构进行深入研究,并取得了突破性进展。2005年11月,美国*Science*杂志以“Design for living”为主题组织了一个专刊,对仿生功能材料设计与应用的最新进展进行了一次系统的综述,强调通过研究生物结构与功能内在联系对开发新型功能材料的指导性作用,确立了仿生材料设计与制备作为一门新兴前沿课题的重要性。

美国、英国、法国、日本、韩国等国家在仿生材料与器件领域取得了一系列重要研究成果。以仿贝壳珍珠层构筑高性能复合材料为例,通过模仿贝壳珍珠层有机/无机交替堆砌排列的特殊结构,人工合成的有机/无机层状复合材料极大地提高了原始材料的力学性能,而且某些材料的力学性能已超过了天然贝壳珍珠层。美国密歇根大学Kotov教授研究小组利用层层组装(layer-by-layer)技术,仿生制备了一系列具有优异力学性能的有机-无机复合材料,例如:聚二烯丙基二甲基氯化铵/蒙脱土层状复合结构材料^[1],聚乙烯醇/蒙脱土复合材料^[2],聚氨酯/聚丙烯酸层状复合材料^[3]。美国哈佛大学Stuart研究小组利用自下而上(bottom-up)的胶体组装技术,将高强度的陶瓷板与柔性生物高聚物壳聚糖通过逐层组装得到具有优异力学性能的仿贝壳层状复合材料^[4]。此外,在分子或原子水平揭示与生命息息相关的生命物质(包括蛋白质、核酸、酶、维生素、激素、糖、脂、抗生素等)的组成、结构及生物学功能,进而实现生命物质的人工合成,是仿生学研究的重要内容。诺贝尔化学奖中有26届是在这一领域中取得的。光合作用是地球上最重要的化学反应,阐明叶绿素的性质、揭示光合作用的机理,一直是一个重大的科学问题。自1901年至今,诺贝尔化学奖曾7次

授予有关光合作用领域的研究者。2008年度和2009年度美国《时代》杂志评出的50项最重要发明中,仿生材料和器件占有相当大的比例。因此,以“仿生材料与器件”作为自然科学研究的核心之一,很有可能带动未来整个自然科学的发展。

3 国内研究概况

我国非常重视仿生领域的研究,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中明确提出了“材料设计与制备的新原理与新方法”,并将“智能材料与结构技术”列为新材料技术的首要发展方向。在自然科学基金委的资助下,我国在仿生领域取得了一批具有较高水平的创新性成果。中国科学院化学研究所在仿生界面特殊浸润性的设计与制备方面取得了一系列重要研究成果,引起了国际学术界的关注,其研究工作一直处于国际领先地位,通过研究具有特殊表面浸润性的生物体表面,揭示了生物体表面微观结构与特殊浸润性之间的本质关系。受此启发,通过在固体表面构筑微米、纳米以及微米/纳米复合结构实现了材料表面的特殊浸润性^[5-12]。最近,*Nature*杂志以封面报道了我国研究人员在蜘蛛丝集水机理上的突破性研究成果“蜘蛛丝的方向性集水效应”^[13],从微纳米层次上揭示了蜘蛛丝集水“多协同效应”机制,并通过设计人造蜘蛛丝,实现了小尺度液滴的方向性驱动。这项研究为新型集水材料、智能催化材料的设计提供了新思路。世界范围的仿生学专家对该研究工作的意义给予了高度的评价,并受到*Nature*新闻网、英国广播公司新闻网、材料研究协会等世界各大媒体和相关研究机构的关注。中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究人员通过“生物-纳米-信息”(BNI, Bio-Nano-Informatics)的学科交叉融合,在微纳传感器基础研究方面取得突破,实现了对超微量有毒物质的快速检测,并在实际中得到应用^[14]。此外,我国在可控分子自组装^[15-18]、仿生离子通道^[19]、仿生分子识别^[20]、生物医学材料^[21-23]、仿生微纳米结构^[24-26]、仿生能量转换材料及器件^[27]、核酸分子马达纳米器件^[28]等领域均取得了一系列重要研究成果。

4 论坛简要

中国科学院化学研究所/北京航空航天大学江雷教授作了题为《仿生材料与器件发展动态及方向》的主题报告。此次论坛共安排了13个大会邀请报告:清华大学张希教授的《分子聚集体的化学:分子

自组装与组装体的功能》;南京大学鞠熷先教授的《仿生分子识别技术的生物学应用的基础研究》;清华大学刘冬生教授的《核酸分子马达及其功能演化》;东南大学顾宁教授的《纳米颗粒的仿生控制组装》;中国科学院化学研究所宋卫国研究员的《纳米结构材料的程序化组装》;四川大学顾忠伟教授的《生物医用材料:现状与发展战略》;中国科技大学俞书宏教授的《仿生轻质高强纳米复合结构材料的可控制备与性能研究》;中国科学院化学研究所/北京航空航天大学江雷教授的《仿生智能纳米界面材料》;中国科学院上海微系统信息技术研究所王跃林研究员的《BNI融合的微纳米传感器及其系统基础研究》;武汉大学庞代文教授的《活细胞合成纳米标记材料的“时-空耦合”新策略》;清华大学李景虹教授的《仿生纳米结构能量转换与存储材料及器件》;上海交通大学颜得岳院士的《细胞模拟化学》;中国科学院长春应用化学研究所汪尔康院士的《仿生单纳米孔的现状和明天》。

会上,各位专家对仿生智能界面材料、仿生离子通道、仿生生物纳米马达、仿生光电功能材料、仿生微纳米结构与器件及其他相关领域的前沿基础科学问题进行了深入研讨,并对专家关心的本领域重大基础科学问题展开了充分的学术思想交流。

5 关于未来的研究方向和若干建议

本次论坛研讨了国内外关于“仿生材料与器件”的研究现状及未来发展趋势,与会专家高度评价自然科学基金委主办这次双清论坛。经过深入研讨和广泛交流,与会专家取得了相当多的共识,概括如下:(1)在仿生材料与器件研究中,既要重视多学科间的交叉,又要保持自己的独立;(2)加强理论模拟研究在仿生材料与器件研究中的作用;(3)在研究中要更加侧重基础、前沿和人才;(4)在自然科学基金委的资助下,我国在仿生材料与器件领域取得了一系列具有国际影响力的研究成果,并形成了若干支具有世界水平的研究团队。建议自然科学基金委组织实施该领域的重大科学研究计划,加大扶持力度,稳步支持若干仿生领域的研究团队,进而在短时间内迅速占领该领域的科学制高点,带动我国化学、生命科学、材料学、数学、物理学、纳米科学等基础学科的持续协调发展,推动我国在该领域的科学发展及学科间的交叉、融合与渗透,取得一批高水平原创性研究成果,形成一些由我国科学家提出的、在国际上具有重要影响的学术思想和理论,促进科技成果

转化和产业化,显著提升我国仿生材料与器件研究在国际上的竞争力和影响力,缩小与发达国家的差距,并形成与保持自己特色,实现“十二五”期间我国科研水平的跨越式发展。

参 考 文 献

- [1] Tang Z Y, Kotov N A, Magonov S et al. Nanostructured artificial nacre. *Nat Mater*, 2003, 2: 413—418.
- [2] Podsiadlo P, Kaushik A K, Arruda E M et al. Ultrastrong and stiff layered polymer nanocomposites. *Science*, 2007, 318: 80—83.
- [3] Podsiadlo P, Arruda E M, Kheng E et al. LBL Assembled laminates with hierarchical organization from nano-to microscale: High-toughness nanomaterials and deformation imaging. *ACS Nano*, 2009, 3: 1564—1572.
- [4] Bonderer L J, Studart A R, Gauckler L J. Bioinspired design and assembly of platelet reinforced polymer films. *Science*, 2008, 319: 1069—1073.
- [5] 江雷,冯琳. 仿生智能纳米界面材料. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [6] Sun T L, Feng L, Gao X F et al. Bioinspired surfaces with special wettability. *Acc Chem Res*, 2005, 38: 644—652.
- [7] Feng X J, Jiang L. Design and creation of superwetting/antiwetting surfaces. *Adv Mater*, 2006, 18: 3063—3078.
- [8] Xia F, Jiang L. Bio-inspired, smart, multiscale interfacial materials. *Adv Mater*, 2008, 20: 2842—2858.
- [9] Wang S T, Song Y L, Jiang L. Photoresponsive surfaces with controllable wettability. *J Photochem Photobiol C*, 2007, 8: 18—29.
- [10] Gao X F, Jiang L. Water-repellent legs of water striders. *Nature*, 2004, 432: 36.
- [11] Feng L, Li S H, Li Y S et al. Super-hydrophobic surfaces: From natural to artificial. *Adv Mater*, 2002, 14: 1857—1860.
- [12] 刘克松,江雷. 仿生结构及其功能材料研究进展. *科学通报*, 2009, 54: 2667—2681.
- [13] Zheng Y M, Bai H, Huang Z B et al. Directional water collection on wetted spider silk. *Nature*, 2010, 463: 640—643.
- [14] Xiao S Y, Che L F, Li X X et al. A cost-effective flexible MEMS technique for temperature sensing. *Microelectron J*, 2007, 38: 360—364.
- [15] Wang Y, Xu H, Zhang X. Tuning the amphiphilicity of building blocks: Controlled self-assembly and disassembly for functional supramolecular materials. *Adv Mater*, 2009, 21: 2849—2864.
- [16] Wang C, Guo Y S, Wang Y P et al. Supramolecular amphiphiles based on a water-soluble charge-transfer complex: Fabrication of ultralong nanofibers with tunable straightness. *Angew Chem Int Ed*, 2009, 48: 8962—8965.
- [17] Ma N, Li Y, Xu H et al. Dual redox responsive assemblies formed from diselenide block copolymers. *J Am Chem Soc*, 2010, 132: 442—443.
- [18] Wan P B, Wang Y P, Jiang Y G et al. Fabrication of reactivated biointerface for dual-controlled reversible immobilization of cytochrome c. *Adv Mater*, 2009, 21: 4362—4365.
- [19] Xia F, Guo W, Mao Y D et al. Gating of single synthetic nanopores by proton-driven DNA molecular motors. *J Am Chem Soc*, 2008, 130: 8345—8350.

- [20] Cheng W, Ding L, Ding S J et al. A simple electrochemical cytosensor array for dynamic analysis of carcinoma cell surface glycans. *Angew Chem Int Ed*, 2009, 48: 6465—6468.
- [21] Lu J, Ma S L, Sun J Y et al. Manganese ferrite nanoparticle micellar nanocomposites as MRI contrast agent for liver imaging. *Biomaterials*, 2009, 30: 2919—2928.
- [22] Cui R, Liu H H, Xie H Y et al. Living yeast cells as a controllable biosynthesizer for fluorescent quantum dots. *Adv Funct Mater*, 2009, 19: 2359—2364.
- [23] Xu R, Ma J, Sun X C et al. Ag nanoparticles sensitize IR-induced killing of cancer cells. *Cell Res*, 2009, 19: 1031—1034.
- [24] Zhang L S, Jiang L Y, Chen C Q et al. Programmed fabrication of metal oxides nanostructures using dual templates to spatially disperse metal oxide nanocrystals. *Chem Mater*, 2010, 22: 414—419.
- [25] Yao H B, Fang H Y, Tan Z H et al. Biologically inspired, strong, transparent, and functional layered organic-inorganic hybrid films. *Angew Chem Int Ed*, 2010, 49: 2140—2145.
- [26] Zhao Y, Cao X Y, Jiang L. Bio-mimic multichannel microtubes by a facile method. *J Am Chem Soc*, 2007, 129: 764—765.
- [27] Tang L H, Wang Y, Li Y M et al. Preparation, structure, and electrochemical properties of reduced graphene sheet films. *Adv Funct Mater*, 2009, 19: 2782—2789.
- [28] Mao Y D, Chang S, Yang S X et al. Tunable non-equilibrium gating of flexible DNA nanochannels in response to transport flux. *Nat Nanotechnol*, 2007, 2: 366—371.

REVIEW ON THE 45TH SHUANGQING FORUM ENTITLED “BIOMIMETIC MATERIALS AND DEVICES”

Jiang Lei^{1,2*} Zhang Xi^{3*} Liu Kesong¹

(1 College of Chemistry and Environment, Beihang University, Beijing 100191;

2 Institute of Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190;

3 Department of Chemistry, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract The 45th Shuangqing Forum sponsored by National Natural Science Foundation of China entitled “Biomimetic Materials and Devices” was held in Sanya, Hainan Province during January 25—29, 2010. More than 50 experts and scholars from approximately 20 universities and research institutions in the fields of chemistry, bionics, biology, materials science, nanoscience, and life sciences attended the forum. Among the participants, there are 13 academicians of the Chinese Academy of Sciences and 10 chief scientists of National Basic Research Project. In combination with national imperatives and international research frontiers in the field of bionics, the participants further discussed the research status and development trends of biomimetic materials and devices. Some concrete suggestions for the prior research fields were also proposed in this forum.

Key words biomimetic materials, biomimetic devices, shuangqing forum

· 资料 · 信息 ·

第 48 期双清论坛“清洁能源与节能减排的科学基础”召开

国家自然科学基金委员会第 48 期双清论坛于 2010 年 3 月 10—11 日在重庆召开。本次论坛的主题为：清洁能源与节能减排的科学基础。来自国内化学、化工、工程热物理和能源利用等相关领域的 28 个大学和科研院所的 60 余名专家学者出席了会议。

与会专家围绕化石资源的高效利用、清洁能源、储能材料和技术、化工及冶金行业节能减排、CO₂ 减排及转化利用、面向清洁能源的稀土资源高效利用等热点内容进行了广泛研讨，初步凝练了 6 方面内容的

基本科学问题：(1) 清洁能源的高效转化与存储；(2) 化工过程节能减排的共性科学基础；(3) 石油资源高效清洁转化的科学与工程基础；(4) 煤炭资源洁净高效转化的催化与化学工程基础；(5) 面向清洁能源的稀土资源高效利用；(6) 面向清洁能源与节能减排的 CO₂ 活化、转化与资源化科学基础。

(化学科学部 供稿)