

绿色离子液体介质中有序分子聚集体构建

马福民¹, 郭建林¹, 陈晓², 李文¹, 阮敏¹, 于占龙¹

1. 湖北理工学院化学与材料工程学院, 矿区环境污染控制与修复湖北省重点实验室, 黄石 435003
2. 山东大学化学与化工学院, 济南 250100

摘要 离子液体具有很多物理、化学特性且环境友好, 被广泛应用于化学、化工、材料、生物、环境等领域。评述了非质子化离子液体、质子化离子液体等作为绿色介质在构建胶束、溶致液晶、囊泡、微乳液和乳状液等有序分子聚集体方面的研究进展。简述了两亲分子和有序分子聚集体的基本概念、分类及发展, 对各种离子型表面活性剂、非离子型表面活性剂及聚合物类表面活性剂在非质子化离子液体、质子化离子液体及水溶液中自组装有序分子聚集体的类型、结构、影响因素、驱动力、机制等进行对比分析, 并对其应用领域和研究趋势进行展望。

关键词 表面活性剂; 离子液体; 有序分子聚集体; 绿色介质

中图分类号 O647.5

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.011

Preparation of the Ordered Molecular Assembly Based on Green Ionic Liquid Media

MA Fumin¹, GUO Jianlin¹, CHEN Xiao², LI Wen¹, RUAN Min¹, YU Zhanlong¹

1. Hubei Key Laboratory of Mine Environmental Pollution Control & Remediation, School of Chemical and Material Engineering, Hubei Polytechnic University, Huangshi 435003, China
2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract The ionic liquid is widely used in various fields due to its special characteristics and the environment-friendly green performance. In this paper, the research progress is reviewed with a focus on the fabrication of the ordered molecular assembly such as micelles, lyotropic liquid crystals, vesicles, microemulsion and emulsion, using the green ionic liquids as the media, including non-protic and protic ionic liquids. Firstly, the basic concepts, the classification and the development of the amphiphilic molecule and the ordered molecular assembly are briefly discussed. Then, the assembly behaviors of a variety of ionic surfactants, nonionic surfactants and polymeric surfactants in the non-protic ionic liquid, the protic ionic liquid and the aqueous solution are compared. The type, the structure, the influencing factors, the driving force, and the mechanism of the ordered molecular assembly are analyzed. Its application areas and research trends in this field are also commented.

Keywords surfactants; ionic liquids; ordered molecular assembly; green media

离子液体一般是指在室温或者接近室温时呈液态的有机熔融盐, 具有低蒸气压、污染小等特点, 在一些情况下可以取代有机溶剂, 也被称为绿色溶剂^[1-8]。随着人们对绿色化学及清洁工艺等意识的不断提高, 离子液体这种绿色溶剂正受到广泛关注, 并逐渐应用于化学、化工、材料、生物、环境等领域。近年来, 离子液体在构建有序分子聚集体领域的研究和

应用也逐渐成为研究的热点。各种有序分子聚集体如胶束、囊泡、溶致液晶、微乳液和乳状液等作为软物质材料可以广泛应用于生命、信息、能源、材料等领域^[9-11]。早期研究主要以水和有机溶剂为介质构建有序分子聚集体, 这些体系具有一定的局限性, 如导电性差、不耐高温、易带来环境污染等问题^[4,5,8-10]。离子液体作为新介质引入, 将会产生一些新型的有

收稿日期: 2013-07-08; 修回日期: 2013-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51202082, 51272082); 湖北省自然科学基金重点项目(2010CDA026); 湖北理工学院人才项目(11yjz04R)

作者简介: 马福民, 博士, 研究方向为有序聚集体及仿生界面材料, 电子邮箱: fuminma@live.com

引用格式: 马福民, 郭建林, 陈晓, 等. 绿色离子液体介质中有序分子聚集体构建[J]. 科技导报, 2014, 32(1): 78-83.

序分子聚集体体系和新的性能,如耐高温性及导电性等,这必将扩大离子液体的应用范围,扩展有序分子聚集体的种类和性能,使其具有更广泛的应用。本文介绍各种表面活性剂或双亲分子在各种非质子化离子液体和质子化离子液体中构建有序分子聚集体的研究进展。

1 两亲分子与有序分子聚集体

1.1 两亲分子

两亲分子一般是由亲水的一端和疏水的另一端组成,即头基和尾端分别表现出不同的极性,因而与一般的分子比较,有着不同的性能。最广泛的一类两亲分子是通常所说的表面活性剂,在日常生活中发挥着非常重要的作用^[12]。表面活性剂广泛地应用在洗衣粉等清洁剂、食品、染料、医药行业、生命过程等各方面,常被称为工业味精。表面活性剂的一个明显的特征是,随着其在水中浓度的增加会达到临界胶束浓度,进一步可形成胶束、液晶等有序组装体。表面活性剂一般可以按照构成分子的离子、非离子以及其种类进行较为详细的多级分类。总体上,按照表面活性剂是否可以电离出离子,将表面活性剂分为两大类:非离子型和离子型表面

活性剂。对于离子型表面活性剂,根据其电离出离子的种类,又可以分为阴离子、阳离子及两性表面活性剂。根据离子的具体种类,还可以分为季铵类、吡啶类、咪唑类、胺类等。随着对表面活性剂研究的深入和发展,近年来也研发出了一些新型、高效的表面活性剂,如双子类、冠醚类、Bola型等,应用于三次采油、造纸助剂、纺织加工、生物工程等行业。

1.2 有序分子聚集体

有序分子聚集体是指通过各种各样的相互作用力,如一些非共价键相互作用,驱动分子进行有序自组装,形成一些分子层次以上的高级有序聚集结构。这种有序聚集结构在自然界中广泛存在,并发挥着非常重要的作用。比如生命细胞的细胞膜,某种程度上就是由双亲分子自组装而形成;其他如DNA的双螺旋结构、各种病毒细菌体等都属于有序聚集体。本文讨论的有序分子聚集体主要是指,由双亲分子通过一些氢键、疏溶剂力等弱相互作用力形成的结构。研究发现,双亲分子随着浓度的升高,会逐渐依次形成胶束、棒状胶束、蠕虫状胶束、层状或柱状胶束堆积(即溶致液晶),以及囊泡等有序聚集体,如图1所示^[12]。

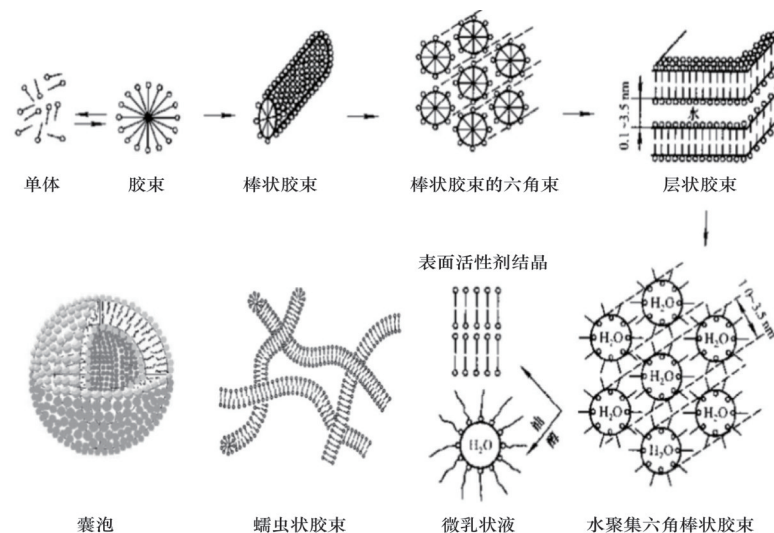


图1 双亲分子在溶液中自组装形成的各种各样的有序分子聚集体示意

Fig. 1 Schematic representations of individual organized molecular aggregate structures commonly formed by amphiphiles in solution

双亲分子在低浓度时一般形成胶束有序聚集体,在高浓度时一般会出现一些有序的微相分离,形成溶致液晶有序聚集体。溶致液晶的形成和溶液体系的浓度以及分子间的一些相互作用有关,是一种介乎于固液相之间的相态,兼具有固体的各向异性、长程有序,以及液体的一些特征。溶致液晶类型多样,不同的分子、组成等可以形成不同类型的液晶,常见的类型有平面层状结构的层状相(L)、柱状排列的六角相(H)、三维双连续通道的立方相(Q或V)等。各种溶致液晶的构建一般是由双亲分子溶解在水或者其他有机溶剂中等,通过分子间相互作用形成。但是,上述体系也具有局限性,

当以水为介质时,一般不能用在高温或低温下;以有机溶剂为介质时,会引入环境污染等问题;无论以水或是有机溶剂为介质,均存在导电性较差的问题。因此,开发新体系,以适用于不同的领域和特殊条件,成为该领域的一个研究热点。近年来,随着离子液体的快速发展,研究人员发现离子液体不仅可以作为一种绿色的介质用于构建有序分子聚集体,其本身分子结构也可以通过设计而具有双亲性,用于组装有序聚集体,因此绿色离子液体在这一领域的应用受到广泛关注。

本文将非质子化和质子化离子液体在有序分子自组装中的应用为重点,介绍其在有序分子聚集体领域的研究进展。

2 在非质子化离子液体中构建有序分子聚集体

2.1 胶束

胶束是双亲分子形成的最典型、最基本的有序分子聚集体,在离子液体中构建自组装胶束的报道也较早。Reinsborough等^[13-15]报道了双亲分子烷基吡啶、烷基铵的离子型盐类化合物在液体的氯化吡啶中形成了类似的临界胶束浓度等现象,即各种溶液性质如电导率、表面张力、黏度等随浓度改变出现了转折变化,这是从侧面报道的类似胶束聚集体在离子液体中构建的较早报道。Tran等^[16]和Fletcher等^[17]研究了离子型双亲分子如阴离子型的十二烷基硫酸钠(SDS)、阳离子型的十六烷基三甲基溴化铵(CTAB),在离子液体1-乙基-3-甲基咪唑-二(三氟甲基磺酰)亚胺((Emim)Tf₂N)、1-丁基-3-甲基咪唑六氟磷酸盐((Bmim)PF₆)中,形成胶束的能力,发现这种条件下一般较难形成胶束,原料甚至不能溶解。而非离子型表面活性剂如TritonX-100, Brij35, Tween20等则较容易在离子液体中形成有序聚集体。Meli等^[18]和He等^[19]曾发现非离子型的聚丁二烯-聚氧乙烯(PB-PEO)双亲分子可以在离子液体(Bmim)Tf₂N中形成胶束,采用低温透射电镜(Cryo-TEM)可以观测到胶束的直观形貌,胶束呈现出球形、蠕虫状等形态。Zheng等^[20-22]和Gao等^[23]在以离子液体为介质构建有序分子聚集领域做了较多的工作,研究了各种非离子双亲分子,如聚氧乙烯-聚氧丙烯-聚氧乙烯嵌段共聚物(L61、L64和F68等)以及聚氧乙烯20,去水山梨糖醇月桂酸酯等在离子液体(Bmim)PF₆、(Bmim)BF₄中的自组装行为。研究发现,离子液体形成胶束聚集体的主要驱动力是疏溶剂作用,形成胶束的类型、大小和双亲分子浓度、双亲分子链长、离子液体种类等有关。Patrascu等^[24]也发现各种较短链长的醚类双亲分子可以在离子液体中形成胶束。以上研究表明,离子型双亲分子在离子液体中较难形成胶束,而非离子型双亲分子则较容易,高分子和低分子量的非离子型双亲分子均可以在离子液体中形成形貌不同的胶束有序聚集体。

2.2 溶致液晶

以非质子化离子液体为介质自组装构建溶致液晶也有报道。如Chen等^[25,26]报道了具有双亲性的三嵌段共聚物(EO₂₀PO₇₀EO₂₀)在(Bmim)PF₆中,以及两亲性嵌段物Brij30在离子液体(Bmim)PF₆、(Bmim)BF₄、水所组成的三元体系中的有序自组装行为。研究发现,三嵌段共聚物(EO₂₀PO₇₀EO₂₀)可以在(Bmim)PF₆中形成层状相(L_α)、六角相(H₁)等溶致液晶结构。在低表面活性剂浓度时,主要形成六角相溶致液晶,其结构参数为D;随着表面活性剂浓度的增加,六角相转变为层状相结构,对应的层状相结构参数为d,溶致液晶自组装的形成机制如图2所示^[25]。研究认为离子液体和双亲分子的氢键作用、电子对作用以及疏溶剂力的联合作用导致了双亲分子在离子液体中的自组装、微相分离,从而形成了各种结构参数不同的溶致液晶。王仲妮等^[27]则报道了两亲分子Brij97在离子液体(Bmim)BF₄或(Bmim)PF₆以及水所组成的三元体系中进行有序自组装形成溶致液晶的研究,发现在以

上2种离子液体组成的体系中均可以形成层状和六角相的溶致液晶。Lodge等^[28,29]报道了双嵌段共聚物聚苯乙烯-聚氧乙烯在离子液体(Bmim)PF₆和(Emim)(TFSI)中的有序聚集行为,发现这两个体系均可以形成六角、层状、反六角相溶致液晶,并发现了少量立方相和无规结构的组装聚集体。Ge^[30]、Friebeg^[31]、Zheng^[32]也研究了相关表面活性剂如C₁₂EO₄、Brij30、DTAB等在离子液体中的有序聚集行为,发现了相关溶致液晶有序聚集体的形成,并进行了详细报道。研究发现,双亲分子以非质子化离子液体为介质构建溶致液晶的研究报道还相对较少,尤其是离子型等表面活性剂的相关研究有待进一步探索。

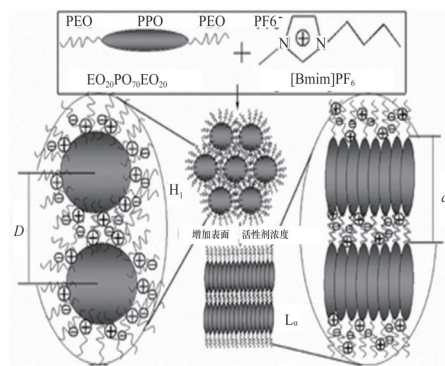


图2 三嵌段共聚物P123在离子液体(Bmim)PF₆介质中形成溶致液晶的机制示意

Fig. 2 Schematic diagram of the formation of LLC in P123-(Bmim)PF₆ system

2.3 其他有序分子聚集体

除了胶束、溶致液晶外,其他常见的有序分子聚集体如囊泡、乳状液、微乳液等也可以在非质子化离子液体中有序组装形成聚集体结构。He等^[19]发现PB-PEO两性嵌段共聚物不仅可以在(Bmim)PF₆中形成胶束,而且可以形成双分子层囊泡等有序聚集结构。Hao等^[33]发现锌-氟类复合表面活性剂(Zn(OOCCH₂C₆F₁₃)₂)可以在离子液体(Bmim)BF₄和(Bmim)PF₆中形成囊泡聚集体。Gao等^[34]和Cheng等^[35]则在以离子液体为介质构建微乳液等领域作了较多的研究,发现(Bmim)PF₆TritonX-100水、(Bmim)BF₄TritonX-100环己烷和乙二醇-TritonX-100-(Bmim)PF₆三元体系均可以形成微乳液。Liu等^[36]在运用非质子化离子液体调控微乳液的曲率方面做了研究。Gao等^[37]还发现了微结构随着温度可调整的微乳液。多种研究还发现,这些微乳液通过调控可以得到纳米级别的极性区域,可以以此为微环境作为微反应器应用于制备纳米材料等领域中^[38]。除此之外,基于离子液体构建乳状液也有报道。Binks等^[39]发现,以纳米级二氧化硅作稳定剂可以构建单一的或者多重的乳状液。例如,用二氧化硅纳米粒子作为稳定剂,可以以表面活性剂Miglyol 810N(甘油三酸酯,每个碳链上含8~10个碳原子)为基础,在离子液体

(Emim)BF₄中分别自组装构建O/I型和I/O型乳液。

3 在质子化离子液体中构建有序分子聚集体

3.1 胶束

质子化离子液体一般是通过酸和碱之间的质子转移来制备的,其典型特征是由于存在质子可以形成很好的氢键网络结构,这使其更容易和其他分子形成相互作用力,从而促进有序分子聚集体的自组装构建^[40]。Evans等^[41,42]报道了以质子化离子液体为介质构建胶束聚集体。研究发现,烷基吡啶溴盐(CnPyBr)、烷基三甲基溴化铵和非离子表面活性剂Triton X-100都能在质子化离子液体硝酸乙基铵(EAN)中自组装形成胶束。最近,López-Barrón等^[43]则研究了CTAB在EAN中的有序聚集行为,发现可以形成球状胶束,增加表面活性剂浓度可以形成胶束密集堆积的溶致液晶结构,这一结构可以发生可逆变化。Atkin等^[44]和Warr等^[45,46]较详细地研究了各种非离子表面活性剂在质子化离子液体中的聚集行为,表面活性剂包括了含有12~18个碳链的烷基醚类非离子表面活性剂和各种Pluronic非离子表面活性剂P65、L81、L121等,发现临界胶束浓度随着碳链的变化有规律的变化,一般链长越长临界胶束浓度越小。其他因素如非极性部分的种类、温度、浓度也会对双亲分子自组装有明显影响。比如,增加链长或增加温度,球形胶束容易发生转变成为棒状胶束聚集结构。

3.2 溶致液晶及其他有序分子聚集体

如果双亲分子的结构合适,随着其浓度的增加,一般会发微相分离,形成溶致液晶等有序分子聚集体。已报道的用于构建溶致液晶的质子化离子液体包括硝酸乙基铵、烷基咪唑和烷基胺等盐类以及一些其他杂环离子构成的质子化离子液体。通常情况下,质子化离子液体的结构会影响到它的内聚能^[40],而内聚能一般是作为介质驱动双亲分子自组装构建有序聚集体的能力的量度,其值一般可以通过结构设计如官能团的引入、摩尔体积的调节以及表面张力的设计等而改变。Evans等^[47]和Tamura-Lis等^[48]报道过 β 、 γ -二硬脂酰磷脂酰胆碱(DSPC)和L-二棕榈酰磷脂酰胆碱(DPPC)可以在EAN中形成溶致液晶。Greaves等^[49]则以质子化离子液体为介质研究了myverol 18-99K(主要成分是单甘油油酸酯)和植烷三醇2种表面活性剂的有序自组装行为。他们使用一种简便的渗透扫描的方法系统研究了这2种非离子双亲分子在一系列质子化离子液体中的有序聚集行为,部分偏光显微镜表征结果如图3所示^[48]。这2种表面活性剂可以在质子化离子液体中形成层状相、六角相、立方相、反六角相等有序结构,具体的溶致液晶类型和范围受质子化离子液体及浓度的影响较大。Greaves等^[50]还用此方法进一步研究了CTAB与一系列质子化离子液体组装构建的溶致液晶结构,发现自组装行为基本可以分为2个系列:一是随着表面活性剂浓度增加只是出现了层状相液晶;二是形成了六角、立方以及层状相溶致液晶结构。

一些非离子表面活性剂如Brij97、P123(EO₂₀PO₇₀EO₂₀)以及离子型的铵类双子表面活性剂在质子化离子液体中也可以自组装形成溶致液晶^[2,51-53]。P123可以在EAN中形成丰富的相态,如层状相、六角形以及立方相等。Brij97在EAN中可以形成很好的六角相结构,并具有良好的流变行为。离子型的铵类Gemini表面活性剂则更容易形成反相六角相结构。Atkin等^[44]、Warr等^[46,54]则报道了不同链长的聚氧乙烯烷基醚类以及P65等非离子表面活性剂在EAN中的有序聚集行为,发现对此体系而言EAN和水具有相似的自组装行为,但一般需要更长的链长方能够在EAN中形成溶致液晶。除了一般的溶致液晶,Jiang等^[55]还使用月桂酸钠这一离子型双亲分子在EAN中自组装构建了各向异性的离子凝胶,这一离子凝胶的形成具有可逆性并具有层状结构。综上所述,在质子化离子液体中一般也可以形成溶致液晶,但是相态和范围通常少于水体系。可能是因为水分子体积更小同时具有更优异的三维氢键网络结构,使得其更易于作为自组装介质。但是离子液体也有其优势,例如质子化特征、更好的电导性、更好的耐高低温的能力等,因此以离子液体为介质构建的溶致液晶等有序分子聚集体有望具有更广泛的应用领域。

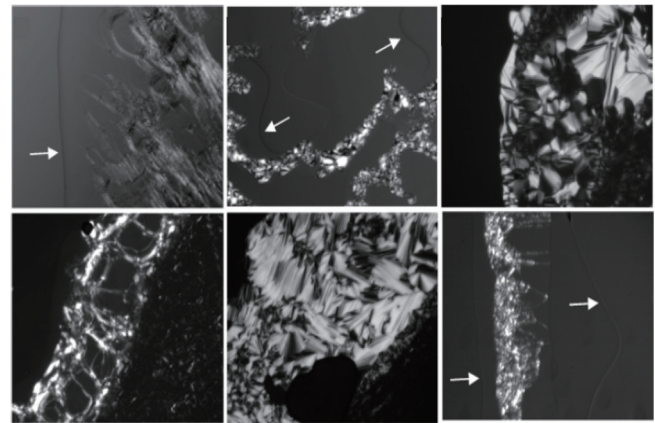


图3 植三醇和myverol 18-99K在各种质子化离子液体中的渗透扫描结果

Fig. 3 Penetration scan results for the PILs with phytantriol and myverol 18-99K

4 结论

离子液体作为一种绿色介质在构建有序分子聚集体方面显示出重要的理论意义和应用价值,也因此受到越来越重视。将非质子化离子液体和质子化离子液体用于构建胶束、溶致液晶、囊泡、微乳液等有序分子聚集体取得了良好的效果,但相关研究尤其是以质子化离子液体为介质构建有序分子聚集体方面还是处于起步阶段,相关研究报道较少,其中的一些自组装机理也不太清楚。因此,在双亲分子的种类、离子液体的种类及两者联合用于构建有序分子聚集体方面仍需要进一步研究探索,以深入理解离子液体为介质进行自组装的相关机制和作用,进一步完善发展有序分子聚集体

领域,开发出基于离子液体的新型聚集体体系并推广其在生命、材料、化学等各个领域的应用。

参考文献(References)

- [1] 樊国栋, 康丽, 李刚辉. 离子液体在糖酯合成中的研究进展[J]. 科技导报, 2012, 30(2): 70-73.
Fan Guodong, Kang Li, Li Ganghui. Progress of the synthesis of sugar esters in ionic liquids[J]. Science & Technology Review, 2012, 30(2): 70-73.
- [2] Ma F M, Chen X, Zhao Y, et al. A nonaqueous lyotropic liquid crystal fabricated by a polyoxyethylene amphiphile in protic ionic liquid[J]. Langmuir, 2010, 26(11): 7802-7807.
- [3] Falcioni F, Housden H R, Ling Z L, et al. Soluble, folded and active subtilisin in a protic ionic liquid[J]. Chemical Communications, 2010, 46(5): 749-751.
- [4] Greaves T L, Weerawardena A, Krodzewska I, et al. Protic ionic liquids: Physicochemical properties and behavior as amphiphile self-assembly solvents[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2008, 112(3): 896-905.
- [5] Greaves T L, Drummond C J. Protic ionic liquids: Properties and applications[J]. Chemical Reviews, 2008, 108(1): 206-237.
- [6] Ohno H, Fukumoto K. Amino acid ionic liquids[J]. Accounts of Chemical Research, 2007, 40(11): 1122-1129.
- [7] Wang H, Gurau G, Rogers R D. Ionic liquid processing of cellulose[J]. Chemical Society Reviews, 2012, 41(4): 1519-1537.
- [8] Rehman A, Zeng X. Ionic Liquids as Green Solvents and Electrolytes for Robust Chemical Sensor Development[J]. Accounts of Chemical Research, 2012, 45(10): 1667-1677.
- [9] Fry H C, Garcia J M, Medina M J, et al. Self-assembly of highly ordered peptide amphiphile metalloporphyrin arrays[J]. Journal of the American Chemical Society, 2012, 134(36): 14646-14649.
- [10] Lai Y T, King N P, Yeates T O. Principles for designing ordered protein assemblies[J]. Trends in Cell Biology, 2012, 22(12): 653-661.
- [11] Ciesielski A, Perone R, Pieraccini S, et al. Nanopatterning the surface with ordered supramolecular architectures of N9-alkylated guanines: STM reveals[J]. Chemical Communications, 2010, 46(25): 4493-4495.
- [12] 陈宗琪, 王光信, 徐桂英. 胶体与界面化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
Chen Zongqi, Wang Guangxin, Xu Guiying. Colloid and interface chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [13] Bloom H, Reinsborough V. Cryoscopy in molten pyridinium chloride [J]. Australian Journal of Chemistry, 20(12): 2583-2587.
- [14] Reinsborough V, Valleau J. Ultrasonic studies in molten pyridinium chloride solutions[J]. Australian Journal of Chemistry, 21(12): 2905-2911.
- [15] Reinsborough V. An NMR study in molten pyridinium chloride solutions [J]. Australian Journal of Chemistry, 23(7): 1473-1475.
- [16] Tran C D, Yu S. Near-infrared spectroscopic method for the sensitive and direct determination of aggregations of surfactants in various media [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2005, 283(2): 613-618.
- [17] Fletcher K A, Pandey S. Surfactant aggregation within room-temperature ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl) imide[J]. Langmuir, 2003, 20(1): 33-36.
- [18] Meli L, Santiago J M, Lodge T P. Path-Dependent morphology and relaxation kinetics of highly amphiphilic diblock copolymer micelles in ionic liquids[J]. Macromolecules, 2010, 43(4): 2018-2027.
- [19] He Y, Li Z, Simone P, et al. Self-assembly of block copolymer micelles in an ionic liquid[J]. Journal of the American Chemical Society, 2006, 128(8): 2745-2750.
- [20] Li N, Zhang S, Zheng L, et al. Aggregation behavior of a fluorinated surfactant in 1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl) imide ionic liquid[J]. Langmuir, 2009, 25(18): 10473-10482.
- [21] Wu J, Li N, Zheng L, et al. Aggregation behavior of polyoxyethylene (20) sorbitan monolaurate (tween 20) in imidazolium based ionic liquids [J]. Langmuir, 2008, 24(17): 9314-9322.
- [22] Zhang S, Li N, Zheng L, et al. Aggregation behavior of pluronic triblock copolymer in 1-Butyl-3-methylimidazolium type ionic liquids[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2008, 112(33): 10228-10233.
- [23] Gao Y, Li N, Li X, et al. Microstructures of micellar aggregations formed within 1-butyl-3-methylimidazolium type ionic liquids[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2008, 113(1): 123-130.
- [24] Patrascu C, Gauffre F, Nallet F, et al. Micelles in ionic liquids: Aggregation behavior of alkyl poly(ethyleneglycol)-ethers in 1-butyl-3-methyl-imidazolium type ionic liquids[J]. ChemPhysChem, 2006, 7(1): 99-101.
- [25] Wang L, Chen X, Chai Y, et al. Lyotropic liquid crystalline phases formed in an ionic liquid[J]. Chemical Communications, 2004(24): 2840-2841.
- [26] Zhuang W C, Chen X, Cai J G, et al. Characterization of lamellar phases fabricated from Brij-30/water/1-butyl-3-methylimidazolium salts ternary systems by small-angle X-ray scattering[J]. Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 2008, 318(1-3): 175-183.
- [27] Wang Z N, Liu F, Gao Y, et al. Hexagonal liquid crystalline phases formed in ternary systems of Brij 97-water-ionic liquids[J]. Langmuir, 2005, 21(11): 4931-4937.
- [28] Simone P M, Lodge T P. Phase behavior and ionic conductivity of concentrated solutions of polystyrene-poly(ethylene oxide) diblock copolymers in an ionic liquid[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2009, 1(12): 2812-2820.
- [29] Simone P M, Lodge T P. Lyotropic phase behavior of polybutadiene-poly(ethylene oxide) diblock copolymers in ionic liquids[J]. Macromolecules, 2008, 41(5): 1753-1759.
- [30] Ge L L, Chen L P, Guo R. Microstructure and lubrication properties of lamellar liquid crystal in Brij30/Bmim PF₆/H₂O system[J]. Tribology Letters, 2007, 28(2): 123-130.
- [31] Friberg S E, Yin Q, Pavel F, et al. Solubilization of an ionic liquid, 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate, in a surfactant-water system[J]. Journal of Dispersion Science and Technology, 2000, 21(2): 185-197.
- [32] Wu J P, Zhang J, Zheng L Q, et al. Characterization of lyotropic liquid crystalline phases formed in imidazolium based ionic liquids[J]. Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 2009, 336(1-3): 18-22.
- [33] Hao J C, Song A X, Wang J Z, et al. Self-assembled structure in room-temperature ionic liquids [J]. Chemistry-A European Journal, 2005, 11(13): 3936-3940.
- [34] Gao Y N, Han S B, Han B X, et al. TX-100/water/1-butyl-3-methyl-imidazolium hexafluorophosphate microemulsions[J]. Langmuir, 2005,

- 21(13): 5681-5684.
- [35] Cheng S, Fu X, Liu J, et al. Study of ethylene glycol/TX-100/ionic liquid microemulsions[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2007, 302(1): 211-215.
- [36] Liu L P, Bauduin P, Zemb T, et al. Ionic liquid tunes microemulsion curvature[J]. Langmuir, 2009, 25(4): 2055-2059.
- [37] Gao Y N, Li N, Hilfert L, et al. Temperature-induced microstructural changes in ionic liquid-based microemulsions[J]. Langmuir, 2009, 25(3): 1360-1365.
- [38] Adhikari A, Sahu K, Dey S, et al. Femtosecond solvation dynamics in a neat ionic liquid and ionic liquid microemulsion: Excitation wavelength dependence[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2007, 111(44): 12809-12816.
- [39] Binks B P, Dyab A K F, Fletcher P D I. Novel emulsions of ionic liquids stabilised solely by silica nanoparticles[J]. Chemical Communications, 2003(20): 2540-2541.
- [40] Greaves T L, Drummond C J. Ionic liquids as amphiphile self-assembly media[J]. Chemical Society Reviews, 2008, 37(8): 1709-1726.
- [41] Evans D, Yamauchi A, Wei G, et al. Micelle size in ethylammonium nitrate as determined by classical and quasi-elastic light scattering[J]. The Journal of Physical Chemistry, 1983, 87(18): 3537-3541.
- [42] Evans D, Yamauchi A, Roman R, et al. Micelle formation in ethylammonium nitrate, a low-melting fused salt[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1982, 88: 89-96.
- [43] López-Barrón C R, Wagner N J. Structural transitions of ctab micelles in a protic ionic liquid[J]. Langmuir, 2012, 28(35): 12722-12730.
- [44] Atkin R, De Fina L M, Kiederling U, et al. Structure and self assembly of pluronic amphiphiles in ethylammonium nitrate and at the silica surface[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2009, 113(36): 12201-12213.
- [45] Araos M U, Warr G G. Structure of nonionic surfactant micelles in the ionic liquid ethylammonium nitrate[J]. Langmuir, 2008, 24(17): 9354-9360.
- [46] Atkin R, Bobillier S M C, Warr G G. Propylammonium nitrate as a solvent for amphiphile self-assembly into micelles, lyotropic liquid crystals, and microemulsions[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2010, 114(3): 1350-1360.
- [47] Evans D, Kaler E, Benton W. Liquid crystals in a fused salt: Beta, gamma-distearoylphosphatidylcholine in N-ethylammonium nitrate[J]. The Journal of Physical Chemistry, 1983, 87(4): 533-535.
- [48] Tamura-Lis W, Lis L J, Quinn P J. Structures and mechanisms of lipid phase transitions in nonaqueous media: Dipalmitoylphosphatidylcholine in fused salt[J]. Journal of Physical Chemistry, 1987, 91(17): 4625-4627.
- [49] Greaves T L, Weerawardena A, Fong C, et al. Formation of amphiphile self-assembly phases in protic ionic liquids[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2007, 111(16): 4082-4088.
- [50] Greaves T L, Weerawardena A, Fong C, et al. Many protic ionic liquids mediate hydrocarbon-solvent interactions and promote amphiphile self-assembly[J]. Langmuir, 2007, 23(2): 402-404.
- [51] Wang X, Li Q, Chen X, et al. Effects of structure dissymmetry on aggregation behaviors of quaternary ammonium gemini surfactants in a protic ionic liquid EAN[J]. Langmuir, 2012, 28(48): 16547-16554.
- [52] Wang X, Chen X, Zhao Y, et al. Nonaqueous lyotropic liquid-crystalline phases formed by gemini surfactants in a protic ionic liquid[J]. Langmuir, 2011, 28(5): 2476-2484.
- [53] Zhang G D, Chen X, Zhao Y R, et al. Lyotropic liquid-crystalline phases formed by Pluronic P123 in ethylammonium nitrate[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2008, 112(21): 6578-6584.
- [54] Araos M U, Warr G G. Self-assembly of nonionic surfactants into lyotropic liquid crystals in ethylammonium nitrate, a room-temperature ionic liquid[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2005, 109(30): 14275-14277.
- [55] Jiang W Q, Hao J C, Wu Z H. Anisotropic ionogels of sodium laurate in a room-temperature ionic liquid[J]. Langmuir, 2008, 24(7): 3150-3156.

(编辑 田恬)

·学术动态·



中国科学技术协会

中国组建第一批科学传播专家团队

2013年12月26日,中国科协召开“李象益科普事迹报告会暨首席科学传播专家聘任大会”,聘任40个全国学会推荐的156名专家为全国学科首席科学传播专家,聘期3年。

这是中国组建的第一批科学传播专家团队,每个团队推举产生首席科学传播专家1名,涵盖物理学、动物学、气象学、医学等37个学科大类,130余个三级学科。大部分首席专家是本学科领域的学科带头人,其中中国科学院院士、中国工程院院士12人。156名专家中,年龄最大的79岁,最小的35岁,平均年龄55岁;60岁及以下的科学家119名,占76%;女科学家36名,占23%。科学传播专家团队组建后,将围绕各学科前沿科技进展和基本科技常识等,开展科普创作和传播活动。

详见中国日报网 http://caijing.chinadaily.com.cn/xfly/2013-12-26/content_10905692.html。