

专著 西北工业大学
出版基金 资助项目
ZIZHU XIANGMU

ZHUANZHU

复相微纳米胶囊与电子墨水

赵晓鹏 郭慧林 王建平 编著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

西北工业大学专著出版基金资助项目

复相微纳米胶囊与电子墨水

赵晓鹏 郭慧林 王建平 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书介绍了有关复相微纳米胶囊制备与电子墨水的研究成果。内容包括电子墨水显示原理及其影响因素,电子墨水微胶囊的组成及材料的选择,电子墨水制备中的基本问题;悬浮体系的稳定性与电子墨水分散体系稳定性计算,单分散乳液的控制和复凝聚法制备准均匀电子墨水微胶囊;黑白和三原色电子墨水微胶囊的制备及性能;电子墨水的纳胶囊化方法及微纳米胶囊形成机理与电子墨水的电场响应特性等。

图书在版编目(CIP)数据

复相微纳米胶囊与电子墨水/赵晓鹏等编著. —西安:西北工业大学出版社,2007.2

ISBN 978-7-5612-2034-4

I. 复… II. 赵… III. ①复相—纳米材料—微型胶囊—基本知识 ②显示器—基本知识 IV. TB383 TN873

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 012921 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西丰源印务有限公司

开 本:850 mm×1 168 mm 1/32

印 张:9.5 插页:4

字 数:227 千字

版 次:2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

定 价:18.00 元



赵晓鹏 博士，1957年生，西北工业大学教授，博士生导师，2000年国家杰出青年科学基金获得者。

1979年兰州大学物理系毕业，1982年兰州大学固体物理专业获理学硕士学位，1995年中国科学院金属研究所材料物理专业获工学博士学位。现任中国化学会、中国力学学会流变学委员会副主任；西安物理学会常务理事；美国科学促进会（AAAS）国际会员；《复合材料学报》、《功能材料》杂志编委；西北工业大学智能材料与结构中心主任，电流变技术研究所所长。

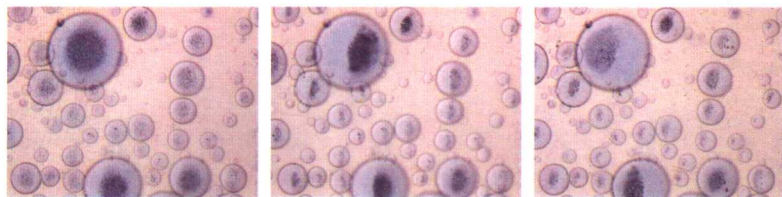
主要从事无机非金属功能材料、智能材料与结构、电流变材料与机理、软物质、仿生复合材料设计与制备等研究，发表科研论文230余篇，其中SCI检索110篇，EI检索92篇，引用500多次；申请和授权中国发明专利67项，获陕西省科学技术一等奖、二等奖、国防科学技术二等奖等省部级科技奖励5项（均为第一完成人）。



郭慧林 博士，1970年生，副教授。1991年和1994年先后于哈尔滨工业大学获学士学位和硕士学位。1994年到西北大学化学系任教，从事物理化学及电化学的教学与科研工作，2004年12月晋升副教授。2000年9月至2005年7月在西北工业大学攻读博士学位，师从赵晓鹏教授。参加国家自然科学基金重大项目课题1项，主持陕西省教育厅专项基金1项。在 *Optical Materials*, *J. Colloid Interface Sci.*, *J. Microencapsulation*, 《自然科学进展》，《材料研究学报》等杂志上发表论文20多篇，获授权中国发明专利3项。



王建平 博士，1964年生，教授。研究方向为智能材料与功能材料。2002年3月至2005年9月师从赵晓鹏教授在西北工业大学攻读博士学位，期间参与了多项有关电子墨水微胶囊的基金项目研究工作，2005年11月至今在天津工业大学做博士后研究工作。先后在 *Langmuir*, *Optical Materials*, 《自然科学进展》等杂志上发表论文30余篇，出版专著2部，申请国家发明专利6项。

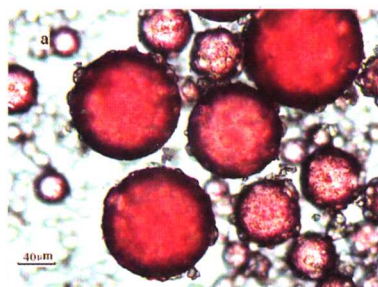


(a) 未加电场

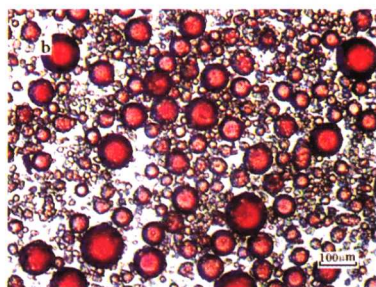
(b) 施加电场后

(c) 施加反向电场

脲甲醛基电子墨水材料

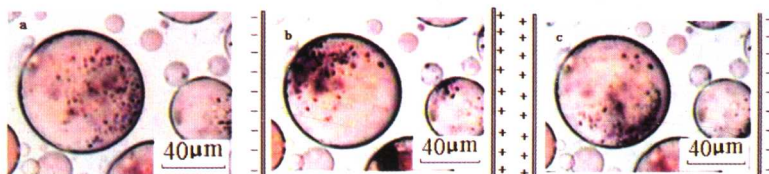


(a) 放大 400 倍

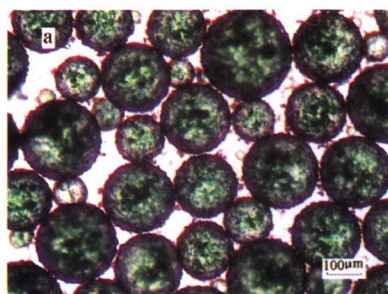


(b) 放大 100 倍

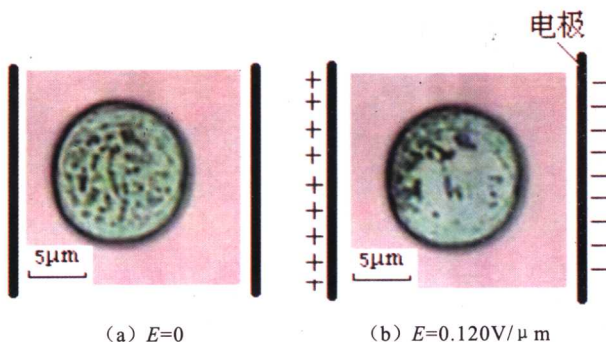
红色电子墨水微胶囊的显微照片



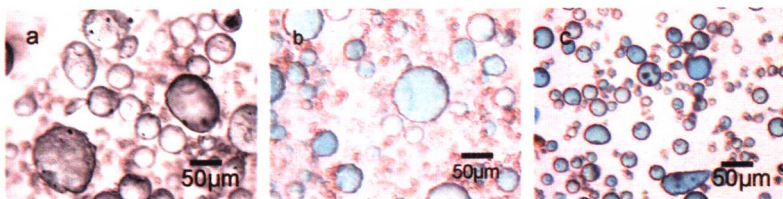
微胶囊在电场下的动态响应行为



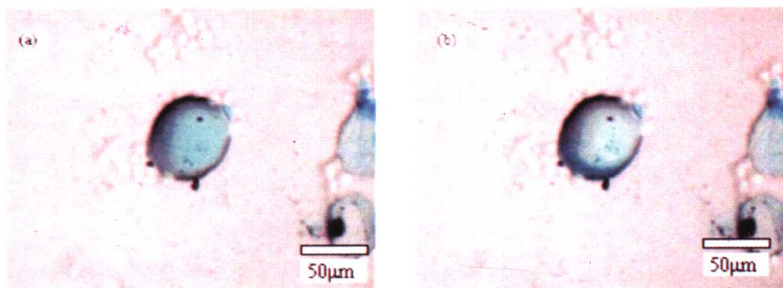
绿色电子墨水微胶囊的光学显微照片



施加电场前后的微胶囊



不同特性黏数预聚体所制备蓝色微胶囊的显微照片

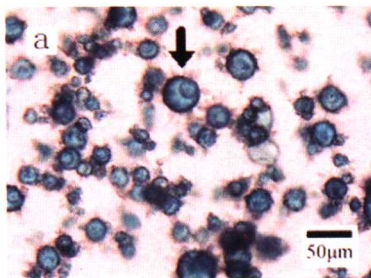


(a) 未加电压时微胶囊内颜料颗粒均匀分布

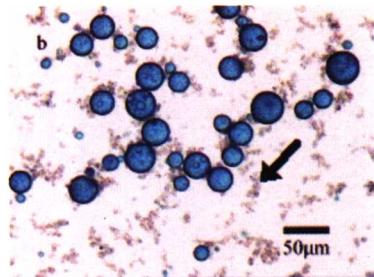
(b) 加电场后微胶囊内颜料颗粒移到下侧

(100倍; 下方为正极, 上方为负极)

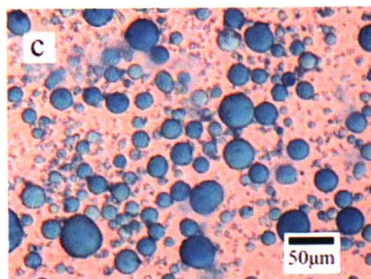
明胶-阿拉伯胶蓝色电子墨水微胶囊的电场响应



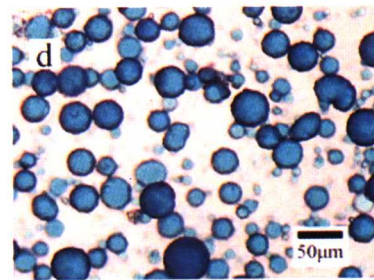
(a) 包含聚丙烯酸的制备体系



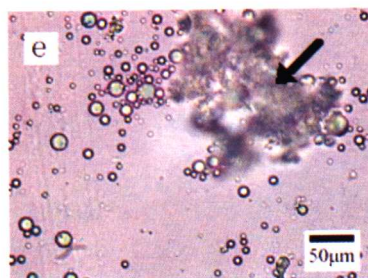
(b) 包含十二烷基硫酸钠的制备体系



(c) 包含NaCl的制备体系

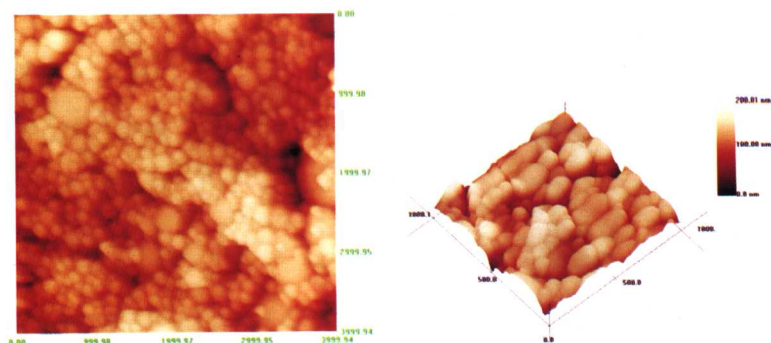


(d) 包含NaCl+甘油的制备体系



(e) 包含OP-10的制备体系（箭头所指为脲醛树脂颗粒）

不同表面活性剂存在时所制备的电子墨水微胶囊的显微照片



纳米胶囊的 AFM 照片



白色电子墨水显示“西工大”字样和西工大校徽的图片

前 言

造纸术和印刷术是中华民族古代的重大发明,在人类文明的传承中熠熠生辉。随着现代科学技术的进步,特别是信息科学与材料科学技术的飞速发展,人们期望的图书文字的变化正在成为现实。电子墨水与电子纸技术的出现给人们带来了极大的希望,它既能满足人们的阅读习惯,又能够实现快速地更新信息。与传统的显示器技术相比,电子墨水显示器具有很多优势,它的可读性、便携性、低耗能、薄而轻、易卷曲以及应用广泛等特点是其他任何显示技术都无法比拟的。无疑,电子墨水将开创阅读与书写的新时代。

但是,由于电子墨水性能的不足制约了电子墨水显示器的快速发展。电子墨水显示器的核心是装有固体微纳米颗粒和基液的复相微胶囊。微胶囊化技术起源于 20 世纪 50 年代,并在以后得到了迅猛发展。目前,微胶囊技术在医药、染料、食品、日用化学品等领域得到了广泛应用。然而,由微胶囊化实现电子墨水显示还是最近出现的新领域。

本书是专门介绍复相微纳米胶囊的制备与电子墨水的科学著作。作者力求系统地介绍微纳米胶囊的机理及电子墨水制备的最新研究成果,书中有关电子墨水部分的主要内容都是作者在国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金重大研究计划——光电子信息功能材料——资助下完成的研究结果;很多内容已经授权或申请中国发明专利,具有自主知识产权;部分内容也已经在国内外著名学术期刊发表。

本书共分为9章。第1章主要介绍了电子纸和电子墨水的提出,电子墨水的显示原理,影响电子墨水显示性能的因素,微胶囊化电子墨水显示的特点及电子纸显示电路。第2章主要介绍了电子墨水微胶囊的组成及材料的选择,包括分散相、分散介质、染料、基体材料、微胶囊的物理性能,电子墨水微胶囊制备的界面聚合法、原位聚合法、复合凝聚法以及电子墨水制备中的基本问题。第3章介绍了接触角及颗粒与分散介质间的润湿性,尤其是接触角及其与润湿的关系,接触角的测量等。第4章主要介绍了悬浮体系的稳定性与电子墨水分散体系稳定性计算。第5章主要介绍了液-液界面与界面张力,单分散乳液的控制和复合凝聚法制备均匀电子墨水微胶囊。第6章主要介绍了黑白电子墨水微胶囊的制备和红色电子墨水微胶囊的制备及性能。第7章主要介绍了酞菁绿颗粒的表面改性及性能、脲甲醛树脂壁材和明胶-阿拉伯胶壁材的绿色微胶囊,蓝色颜料颗粒的表面改性、微胶囊化方法及条件优化、直流电场下蓝色电子墨水微胶囊的行为特征。第8章主要介绍纳米胶囊制备方法,包括乳液中的界面聚合法、界面沉积法、复相乳液溶剂挥发法及纳米胶囊的制备过程,影响纳胶囊化的主要因素。第9章介绍了微纳米胶囊形成机理与电子墨水的电场响应特性。

本书作者编写分工如下:第1,2,5,6章由赵晓鹏教授与郭慧林博士编写;第3,4章由郭慧林博士编写;第7章由赵晓鹏教授与郭慧林、王建平博士编写;第8,9章由赵晓鹏教授与王建平博士编写,全书由赵晓鹏教授统稿。书中的许多研究工作由赵乾博士、王宝祥博士、王登武博士、刘曙硕士、王允涛硕士、郑晴硕士、左朝阳硕士、赵艳硕士、王松茂学士、雷静学士等参加完成。感谢所有同学为我们的工作付出的辛苦和努力。

在此,感谢国家自然科学基金的资助,使我们首先在国内开展了有关电子墨水的研究工作,同时也希望通过本书对促进电子墨

水与电子纸在我国快速发展,为保护生态环境和可持续发展尽一份力。

本书的出版得到西北工业大学专著出版基金的资助,谨向各位专家和学校表示衷心的感谢。西北工业大学出版社张近乐社长和雷军编辑为本书的编辑和出版花费了相当多的心血,谨表谢意。

由于我们的水平有限,加之成稿时间仓促,书中错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

赵晓鹏

2006年7月于西安

目 录

第 1 章 电子墨水及其显示原理	1
1.1 电子纸和电子墨水的提出	1
1.2 电子墨水的显示原理	3
1.2.1 电泳显示原理及其存在问题	3
1.2.2 电子墨水显示原理	6
1.3 影响电子墨水显示性能的因素	8
1.4 微胶囊化电子墨水显示的特点	9
1.5 电子纸显示电路	12
参考文献	14
第 2 章 电子墨水微胶囊的组成及其制备方法	18
2.1 电子墨水微胶囊的组成及材料的选择	18
2.1.1 分散相——电泳颗粒	18
2.1.2 分散介质	20
2.1.3 染料	22
2.1.4 电荷控制剂	22
2.1.5 稳定剂	23
2.1.6 基体材料(柔性基材)	25
2.1.7 微胶囊的物理性能	25
2.2 电子墨水微胶囊的制备	26

2.2.1	界面聚合法	27
2.2.2	原位聚合法	29
2.2.3	复合凝聚法	35
2.3	电子墨水制备中亟待解决的几个基本问题	39
2.3.1	显示颗粒与电泳基液的相容性	40
2.3.2	显示颗粒表面电荷	43
2.3.3	电泳显示液的稳定性	45
2.3.4	显示颗粒的相-相转移	46
2.3.5	颗粒与胶囊囊壁的相容性	47
	参考文献	49
第3章	接触角及颗粒与分散介质间的润湿性	54
3.1	润湿与接触角	54
3.1.1	润湿的概念	55
3.1.2	接触角及其与润湿的关系	57
3.1.3	接触角的测量	58
3.1.4	接触角滞后	68
3.2	固体表面的润湿性与临界表面张力	72
3.2.1	低能表面与高能表面	72
3.2.2	低能表面的润湿性与临界表面张力	73
3.2.3	高能表面上的自憎现象	75
3.3	润湿热	75
3.4	表面活性剂对润湿过程的影响	76
3.5	竞争润湿	77
3.6	固体颗粒的表面改性	78
3.6.1	表面活性剂改性	80
3.6.2	高分子聚合物表面处理	80

3.6.3 以无机化合物实施表面改性.....	82
3.6.4 低温等离子体照射改性技术.....	83
参考文献	83
第4章 悬浮体系的稳定性与电泳显示液	85
4.1 稳定性理论概述.....	85
4.2 DLVO 理论的精确表达式	89
4.3 电子墨水分散体系稳定性计算.....	94
4.3.1 酞菁蓝-四氯乙烯体系的分散稳定性	94
4.3.2 品蓝色淀/TCE 以及纳米 ZnO 有机溶胶体系 的分散稳定性估算	102
参考文献.....	104
第5章 液-液界面张力与微胶囊粒径控制	106
5.1 液-液界面与界面张力.....	107
5.1.1 液-液界面与界面张力.....	107
5.1.2 界面张力的测量	110
5.2 液-液界面张力的理论计算.....	118
5.2.1 Antonoff 规则	118
5.2.2 Good-Girifalco 理论	119
5.2.3 Fowkes 的 γ^d 理论	121
5.3 乳状液的制备及其稳定性	123
5.3.1 乳状液的制备方法	123
5.3.2 影响分散度的因素	126
5.3.3 影响乳状液稳定性的因素	128
5.3.4 乳状液稳定性的测定	133
5.4 单分散乳液的控制	133

5.4.1	膜乳化法	134
5.4.2	微通道乳化法	138
5.4.3	单分散微胶囊制备过程参数分析	142
5.5	复合凝聚法制备准均匀电子墨水微胶囊	145
5.5.1	基本原理	145
5.5.2	应用实例	146
	参考文献	153
第 6 章 电子墨水微胶囊的制备及性能 (I)		156
6.1	黑白电子墨水微胶囊的制备	156
6.1.1	电泳显示液的配制	156
6.1.2	显示液的微胶囊化	162
6.1.3	电子墨水微胶囊的制备	178
6.2	红色电子墨水微胶囊的制备及性能	192
6.2.1	红色电泳颗粒的选择及其表面处理	192
6.2.2	电泳显示液的制备	199
6.2.3	红色电子墨水微胶囊的制备及表征	199
6.2.4	电场响应行为	200
	参考文献	202
第 7 章 电子墨水微胶囊的制备及性能 (II)		205
7.1	绿色电子墨水微胶囊的制备及性能	205
7.1.1	绿色颗粒的选择	205
7.1.2	酞菁绿 G 颗粒的表面改性及性能	206
7.1.3	脲甲醛树脂壁材的绿色微胶囊	210
7.1.4	明胶-阿拉伯胶壁材的绿色微胶囊	217
7.2	蓝色电子墨水的制备及性能	219

7.2.1 蓝色颜料的选择	219
7.2.2 蓝色颜料颗粒的表面改性	221
7.2.3 电泳显示液的制备	226
7.2.4 微胶囊化方法及条件优化	227
7.2.5 直流电场下蓝色电子墨水微胶囊的行为特征.....	
.....	240
参考文献.....	242
第 8 章 电子墨水的纳胶囊化方法.....	244
8.1 纳米胶囊制备方法简介	244
8.1.1 乳液中的界面聚合法	244
8.1.2 乳液中的界面沉积法	245
8.1.3 复相乳液溶剂挥发法	245
8.1.4 胶体模板上聚电解质的逐步沉积法	246
8.1.5 微乳聚合法	247
8.2 细乳液聚合法制备电子墨水纳米胶囊	248
8.2.1 核材料纳米金属氧化物有机胶体(显示液)的 制备	248
8.2.2 纳米胶囊的制备过程	248
8.2.3 测试方法	248
8.3 影响纳胶囊化的几个因素	249
8.3.1 影响 ZnO 纳米有机胶体生成的因素	249
8.3.2 纳胶囊化过程的影响因素	254
参考文献.....	261
第 9 章 微纳米胶囊形成机理与电子墨水的电场响应特性	267
.....	267
9.1 微纳米胶囊的形成机理	267