

半导体科学与技术丛书

纳米生物医学 光电子学前沿

祝宁华 何 杰 主编
李运涛 刘建国



科学出版社

www.sciencep.com

013027394

R31
02

半导体科学与技术丛书

纳米生物医学光电子学前沿

祝宁华 何 杰 主编
李运涛 刘建国



科学出版社

北 京

R31
02



北航

C1635205

内 容 简 介

纳米生物医学光子学是纳米技术与生物技术交叉学科研究的重点内容,专门研究纳米器件及纳米技术在生物学及医学研究领域的实际应用。纳米生物医学光子学的研究、开发和应用正在快速发展,已经成为国内外科技界的热门研究课题。本书是在国家自然科学基金委员会和中国科学院学部支持召开的“纳米生物医学光子学论坛”的基础上,总结了参加论坛的各单位的科研成果而成,涵盖内容包括了纳米材料在医药中的应用、纳米器件在医疗诊断、器械、设备、纳米生物医学成像、DNA 测序等多方面的应用,系统介绍了多种纳米材料和纳米器件的物理基础、工作原理、实际应用,同时对研究历史、现状、研究内容和发展趋势进行了全面的总结。全书由 19 章组成,100 多张图表,提供了准确详细的技术资料。

本书可供从事纳米科学及生物科学以及相关交叉学科研究的人员、教师、研究生、高年级的本科生,以及相关科研领域的政策制定者阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

纳米生物医学光电子学前沿/祝宁华等主编. —北京:科学出版社,2013
(半导体科学与技术丛书)

ISBN 978-7-03-036705-1

I. ①纳… II. ①祝… III. ①纳米材料-应用-生物医学工程-光电子学
IV. ①R31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 028517 号

责任编辑:钱俊 鲁永芳/责任校对:郭瑞芝

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 28 插页: 8

字数: 541 000

定价: 138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《半导体科学与技术丛书》出版说明

半导体科学与技术在 20 世纪科学技术的突破性发展中起着关键的作用，它带动了新材料、新器件、新技术和新的交叉学科的发展创新，并在许多技术领域引起了革命性变革和进步，从而产生了现代的计算机产业、通信产业和 IT 技术。而目前发展迅速的半导体微/纳电子器件、光电子器件和量子信息又将推动 21 世纪的技术发展和产业革命。半导体科学技术已成为与国家经济发展、社会进步以及国防安全密切相关的重要的科学技术。

新中国成立以后，在国际上对中国禁运封锁的条件下，我国的科技工作者在老一辈科学家的带领下，自力更生，艰苦奋斗，从无到有，在我国半导体的发展历史上取得了许多“第一个”的成果，为我国半导体科学技术事业的发展，为国防建设和国民经济的发展做出过有重要历史影响的贡献。目前，在改革开放的大好形势下，我国新一代的半导体科技工作者继承老一辈科学家的优良传统，正在为发展我国的半导体事业、加快提高我国科技自主创新能力、推动我们国家在微电子和光电子产业中自主知识产权的发展而顽强拼搏。出版这套《半导体科学与技术丛书》的目的是总结我们自己的工作成果，发展我国的半导体事业，使我国成为世界上半导体科学技术的强国。

出版《半导体科学与技术丛书》是想请从事探索性和应用性研究的半导体工作者总结和介绍国际和中国科学家在半导体前沿领域，包括半导体物理、材料、器件、电路等方面的进展和所开展的工作，总结自己的研究经验，吸引更多的年轻人投入和献身到半导体研究的事业中来，为他们提供一套有用的参考书或教材，使他们尽快地进入这一领域中进行创新性的学习和研究，为发展我国的半导体事业作出自己的贡献。

《半导体科学与技术丛书》将致力于反映半导体学科各个领域的基本内容和最新进展，力求覆盖较广阔的前沿领域，展望该专题的发展前景。丛书中的每一册将尽可能讲清一个专题，而不求面面俱到。在写作风格上，希望作者们能做到以大学高年级学生的水平为出发点，深入浅出，图文并茂，文献丰富，突出物理内容，避免冗长公式推导。我们欢迎广大从事半导体科学技术研究的工作者加入到丛书的编写中来。

愿这套丛书的出版既能为国内半导体领域的学者提供一个机会，将他们的累累硕果奉献给广大读者，又能对半导体科学和技术的教学和研究起到促进和推动作用。

夏建白

2005 年 3 月 16 日

序 言^{*}

近年来,纳米、生物医学和光电子学已经成为国际上最为活跃的研究领域,特别在其交叉领域取得了巨大的进展。这三大学科的交叉已经形成一门新的学科——纳米生物医学光电子学,它的研究意义在于应用和基础两个方面:

1. 与人民的健康密切相关。随着物质生活的提高,人们对自己的健康越来越关心,希望能保持健康的身体,提高生活的质量,为国家多做贡献。但另一方面,工作压力大,人与人之间的关系紧张,环境污染,食品不安全,不良的应酬生活习惯,又加速了疾病,特别是癌症、心脑血管病、糖尿病等致命疾病的发生、发展。如何及早发现和预防这些疾病,是生物医学光电子学的一个重要任务。

2. 生物医学光电子学设备市场前景非常好。我们国家每年要花费大量外汇购买医疗诊断和治疗设备,给国家和病人增加了负担。例如:进口一台高端核磁共振仪要花费两三千万元。目前我国 70% 的高端医疗设备依然要靠进口,而高等核磁共振、人工膝关节、双腔心脏起搏器等几乎 100% 需要进口。相对于药物来说,我国的医疗器械产业发展滞后。美国药物和医疗器械产业的产值是 1:1,中国是 4:1,预示我国的医疗器械发展空间还很大。目前,我国医疗器械产业市场达到约 4000 亿元规模,并以每年 20% 的速度递增。众多人口的刚性需求,将使中国成为最大的市场。因此国内急需开展生物医学光电子学的理论基础以及相关材料、器件、设备的研究,掌握核心技术,研制出具有自主知识产权的、质高价低的诊断治疗设备和材料。

3. 生物医学光电子学是一门新兴的交叉学科,是物理学、化学、生物学、医学和信息科学的交叉。它是在相关学科的基础研究和应用研究基础上发展起来的。反过来,它的发展和成功应用又不断地对物理学、化学、信息等学科提出新的课题,促进了这些学科的自身发展,以及和技术的融合。

目前国内许多单位都已经开展了这方面的研究,具备了一定的基础。据刘德培院士介绍:近年来,我国生物医学工程与医学物理学科取得长足发展,部分领域已居世界先进水平。例如:高强度聚焦超声、电阻抗成像技术、生物芯片技术、新型血管支架、脑机接口技术等。我国医学物理与生物医学工程领域的发展越来越受到世界关注。2012 年世界医学物理与生物医学工程大会第一次在中国召开,反映出生物医学工程学

^{*} 参考:生物医学工程“补课”正当时,《中国科学报》2012 年 6 月 5 日

在亚洲以及在中国被重视和提高。

本书介绍的仅仅是目前国内开展的一些代表性工作,包括:

1. 纳米生物医学中的光学成像技术,用于对纳米生物医学中信息的表征、检测和获取,包括:细胞内生物分子探测及纳米显微成像技术、脂蛋白纳米载体在生物医学成像中的应用、纳米生物医学成像表征与生物功能界面、扫频光学相干层析技术、门控荧光寿命成像系统等。

2. 基于纳米光电子技术的生物医学检测方法,用于探索生命现象的传导机制,如DNA测序、生物微纳结构等,包括:单细胞检测和分析、淀粉样蛋白的结构分析、DNA测序技术、NSOM结合量子点荧光标记技术应用于细胞超微结构及单分子的探测、第一性原理计算的应用等。

3. 诊断和治疗中的纳米光电子技术,如:对肿瘤、癌症等病症的早期诊断和治疗,包括:基于纳米光电技术的肝癌早期诊断、脑肿瘤靶向纳米药物递释系统、基于金纳米结构的癌症诊治一体化平台、用于单细胞/单分子研究的光镊、光刀与显微拉曼光谱、干细胞心肌补片等。

4. 用于生物医学传感的纳米光电子器件,如基于光谱分析和信号处理的光纤和半导体光电子器件以及系统集成,包括:基于大 π 键共轭体系的生物传感应用、纳米ZnO生物传感器、复合纳米结构光学探针及其生物传感应用、光子晶体及表面等离子体共振在生物传感中的应用等。

出版此书的目的是:为广大科研工作者介绍这一新的交叉领域,吸引更多的科研工作者、大学生、研究生进入这一领域;为科研部门的领导介绍这一新的交叉领域,希望能引起他们的重视,积极组织各方人士开展研究。

本书是两次学术活动的直接结果,一次是在2011年12月19~20日由国家自然科学基金委信息学部主办的“纳米生物医学光电子学战略研讨会”,一次是在2012年8月21~22日由中国科学院学部主办的“纳米生物医学光电子学科学与技术前沿论坛”。在此,特向国家自然科学基金委和中国科学院学部,以及所有作者和编者表示衷心的感谢。

夏建白

中国科学院半导体研究所

2012年11月28日

前 言

纳米生物学光电子学是纳米科学、生物医学和光电子学三个学科交叉的前沿领域。通过纳米材料独特的光电子学特性与生物体的相互作用来探究生命奥秘,将为新一代医学技术,如精细手术、靶向性治疗、分子层面治疗等奠定坚实的基础。开展纳米生物学光电子学的研究,并应用于生物医学研究,为人类健康提供诊断及治疗技术手段和保障,是科技发展要惠及民生重要思想的有力贯彻。近年来,在国家“973”计划、“863”计划、纳米重大专项的支持下,在生物医学、纳米技术及光电子学等学科领域,以及相互交叉的研究领域取得了重大突破性进展。如生物医学光子学与成像技术会议已经举办了11届,中国光学学会年会也专门开辟了生物医学光子学专题,重要的相关学术刊物也有大量的研究论文发表,如科学出版社2011年出版,由徐可欣等编著的《生物医学光子学》等,但是,阐述纳米技术在生物医学中应用的论著较为少见,系统论述纳米科学、生物医学和光电子学三个研究领域的交叉研究还不多,这就使我们产生了组织相关专家进行学术研讨的想法。

由夏建白院士召集,祝宁华研究员、顾宁教授和张幼怡教授组织,在国家自然科学基金委员会信息学部的支持下,中国科学院半导体研究所承办,于2011年12月19~20日成功举办了“纳米生物学光电子学战略研讨会”。来自超过20所大学和科研机构的近80位纳米、生物医学和光电子技术方面的专家围绕这一多学科交叉研究方向的现状及未来发展中的关键科学与技术问题进行了研讨。基于本次研讨的成果,国家自然科学基金委信息科学部将“纳米生物学光电子学交叉汇聚基础与技术”设立为2014年度优先资助重点项目群,共分为5个项目:

- (1) 肿瘤诊断和治疗中的纳米光电子技术;
- (2) 纳米生物医学中的光学成像技术;
- (3) 基于纳米光电子技术的生物医学非成像检测方法;
- (4) 用于生物医学传感的纳米光电子器件;
- (5) 微纳颗粒与组织细胞相互作用机制的光学表征。

由于参加本次战略研讨会的人员较多,每个报告只有15分钟的报告时间和5分钟的讨论时间,难以在较短时间内进行系统而深入的交流。因此与会专家建议再组织一次研讨会,邀请国内在这一交叉领域的著名专家学者对研究热点问题进行较深入地研讨。2012年8月21~22日,由中国科学院学部组织、中国科学院学部学术与出

版工作委员会承办、中国科学院半导体研究所和《中国科学》杂志社协办，夏建白院士为执行主席的第 12 次“科学与技术前沿论坛”在中国科学院学术会堂召开，会议共组织了 9 位从事纳米生物医学光电子学前沿研究的专家对相关研究领域进行了全面而深入的阐述。然而，由于所涉及的研究内容极为广泛，加上交叉学科知识面宽，与会代表难以消化其中的内容，同时有的专家未能全程参加研讨会。因此，希望出版一本纳米生物医学光电子学的书，将这一交叉学科的最新成果和发展动态介绍给国内的科研人员和学生，这就是我们编写本书的缘起。

鉴于纳米生物医学光电子学的研究对象、研究方法以及技术途径所涉及的领域比较广泛，我们将本书分为四篇，第一篇为纳米生物医学中的光学成像技术，主要针对纳米生物医学中信息的表征、检测和获取；第二篇为基于纳米光电子技术的生物医学检测方法，主要探索生命现象的传导机制，如 DNA 测序、生物微纳结构等；第三篇为诊断和治疗中的纳米光电子技术，如对肿瘤、癌症等病症的早期诊断、无创微创手术等；第四篇为生物医学传感的纳米光电子器件，如基于光谱分析和信号处理的光纤和半导体光电子器件以及系统集成。本书共分为 19 章，分别由在该领域著名的院士和最活跃的中青年科学家撰写，包括深圳大学牛憨笨院士，南京理工大学黄维院士、董晓臣教授，国家纳米科学中心王琛研究员、韩东研究员，东南大学顾宁教授、徐春祥教授、崔一平教授，华中科技大学骆清铭教授，北京大学叶安培教授，中国科学院半导体研究所的周晓光研究员、谢亮研究员、杨晋玲研究员、周燕研究员、郑婉华研究员、李运涛副研究员，中国科学院理化技术研究所唐芳琼研究员，成都电子科技大学汪平和教授、刘永教授，广东省医学科学院余细勇研究员，复旦大学陆伟跃教授，厦门大学孙志梅教授以及暨南大学蔡继业教授等。

本书由中国科学院半导体研究所祝宁华研究员、国家自然科学基金委员会何杰研究员、中国科学院半导体研究所李运涛副研究员和刘建国研究员统编完成。需要说明的是，本书的各个章节具有相对独立性和完整性，除了对一些基本术语进行了统一以外，尽可能保持了原著者的文章风貌，因此可能在选题和内容上有一些少量重叠。我们认为这样有助于阅读者学习和掌握其中概念和科学技术。

本书得以完成首先应该感谢各位参与者的努力和积极推动，同时，会议和书稿的组织过程中得到了夏建白院士、牛憨笨院士、黄维院士和高鸿钧院士的大力支持，感谢国家自然科学基金委员会和中国科学院学部对会议组织的大力资助。科学出版社的钱俊编辑为本书进行了细致、繁琐的编审工作，对他们的支持和帮助表示衷心的感谢。

祝宁华代全体作者
2012 年 12 月 16 日

目 录

第一篇 纳米生物学中的光学成像技术

第 1 章 细胞内生物分子探测及纳米显微成像技术研究	3
1.1 引言	3
1.2 荧光显微成像技术研究进展	5
1.2.1 基于 DMD 的 SIM(DMD-SIM)技术	7
1.2.2 SMLM 技术	8
1.3 非标记显微成像技术研究进展	16
1.3.1 SC 激光光源的优化	19
1.3.2 超宽带 T-CARS 光谱分析技术	21
1.3.3 超分辨 CARS 显微成像技术	23
1.3.4 探测灵敏度	25
1.4 小结与展望	26
参考文献	28
第 2 章 纳米生物学成像表征与功能生物界面	33
2.1 引言	33
2.2 微尺度功能生物界面	34
2.3 纳米尺度生物界面成像与表征	35
2.3.1 生物型原子力显微联合成像设备功能群	36
2.3.2 环境扫描电子显微镜联合表征、操纵与微加工设备功能群	50
2.4 基于功能生物界面的生物力药理学理论体系	56
2.4.1 功能生物界面与生物力学因素	57
2.4.2 生物力药理学的孕育	58
2.4.3 生物力药理学研究方法	59
2.5 关键科学问题研究实例——血管内壁微纳抗凝界面的研究与仿生制备	60
2.5.1 活体血管内壁表面微纳复合结构以及微观力学性质研究	62
2.5.2 活体血管内壁表面“微纳复合结构-功能-力学耦合”的模式化研究	62
2.5.3 人工构筑微、纳米固相抗黏附界面的研究	63

2.6 小结	65
参考文献	65
第3章 脂蛋白纳米载体在生物医学研究与成像中的应用	71
3.1 脂蛋白纳米颗粒作为药物载体的理论基础	71
3.1.1 LDL 纳米颗粒以及 LDL 受体	71
3.1.2 HDL 纳米颗粒以及 SR-BI	72
3.1.3 脂蛋白载药方法	72
3.1.4 脂蛋白的靶向性变更	73
3.2 脂蛋白纳米载体在生物医学成像与治疗中的应用	73
3.2.1 LDL 纳米载体的应用	74
3.2.2 HDL 纳米载体的应用	75
3.3 新型人工脂蛋白纳米载体开发与应用	76
3.3.1 仿 LDL 载体的研制	76
3.3.2 仿 HDL 纳米载体的研制	76
3.4 小结与展望	77
参考文献	78
第4章 扫频源光学相干层析技术	82
4.1 OCT 技术与应用	82
4.2 频域 OCT 技术	83
4.3 扫频源 OCT 技术	84
4.4 扫频源 OCT 技术的发展与展望	88
参考文献	89
第5章 门控荧光寿命成像系统的时域参数优化和寿命反演算法	92
5.1 荧光寿命成像技术概述	92
5.1.1 荧光与荧光寿命	92
5.1.2 频域调制方法	95
5.1.3 TCSPC	96
5.1.4 小结	97
5.2 门控 FLIM 系统硬件实现	97
5.3 时域参数优化	100
5.3.1 主要时域参数受限因素分析	101
5.3.2 单门多次采样	103
5.3.3 多门多次采样	104
5.3.4 小结	104
5.4 门控 FLIM 系统算法研究	105

5.4.1 RLD 方法	105
5.4.2 最小二乘法	106
5.4.3 小结	107
5.5 总结	108
参考文献	109

第二篇 基于纳米光电子技术的生物医学检测方法

第 6 章 基于纳米技术的单细胞检测与分析	115
6.1 光学方法	116
6.1.1 荧光标记技术	116
6.1.2 荧光显微术	116
6.1.3 荧光光谱技术	117
6.1.4 基于 X 射线和振动谱技术	117
6.1.5 其他光学方法	118
6.2 扫描探针方法	119
6.2.1 原子力显微镜	119
6.2.2 扫描近场光学显微镜	121
6.2.3 扫描电化学显微镜	123
6.3 电学方法	124
6.3.1 电化学法	124
6.3.2 细胞电生理	125
6.3.3 电化学阻抗显微镜	127
6.3.4 微纳热电偶	128
6.4 质谱方法	128
6.4.1 基底辅助激光解吸/离子化质谱	128
6.4.2 次级质谱显微术	129
6.5 微流控芯片	131
6.5.1 微流控芯片的发展	131
6.5.2 微流控芯片的结构	131
6.5.3 微流控芯片用于单个细胞组分分析	132
6.5.4 微流控芯片在单细胞检测中的优势	133
6.6 小结与展望	134
参考文献	135
第 7 章 淀粉样蛋白的结构分析方法研究进展	139
7.1 背景介绍	139

7.2	淀粉样蛋白单体结构	141
7.2.1	淀粉样蛋白单体的二级结构	142
7.2.2	淀粉样蛋白单体的超二级结构	144
7.3	极小寡聚体与弥散型小寡聚体	146
7.4	原纤维的结构	149
7.5	环形原纤维的结构	152
7.6	淀粉样蛋白纤维结构	154
7.6.1	淀粉样蛋白纤维的二级结构	155
7.6.2	淀粉样蛋白纤维的核心区域	157
7.6.3	淀粉样蛋白原丝的结构	162
7.6.4	淀粉样蛋白成熟纤维的结构	165
7.7	展望	167
	参考文献	170
第 8 章	DNA 测序技术与纳米生物光子学的机遇与挑战	173
8.1	引言——我们为什么需要基因测序	173
8.2	DNA 测序技术与纳米生物光子学	174
8.2.1	DNA——天然的纳米材料	174
8.2.2	DNA 聚合酶——精确的纳米器件	176
8.2.3	DNA 测序技术与纳米生物光子学	179
8.3	DNA 测序方法及微纳米技术和器件的应用	182
8.3.1	第一代基因测序——化学和电泳时代	182
8.3.2	第二代基因测序——DNA 聚合酶和微米加工技术时代	184
8.3.3	第三、四代基因测序技术——纳米生物光子学时代	188
8.4	小结	202
	参考文献	202
第 9 章	NSOM 结合 QDs 荧光标记技术在细胞超微结构及单分子探测上的应用	206
9.1	NSOM 的原理	206
9.2	量子点荧光标记技术	207
9.3	NSOM 在细胞生物学上的应用	208
9.3.1	细胞超微结构的研究	209
9.3.2	细胞表面原位单分子探测	211
9.4	小结与展望	215
	参考文献	216
第 10 章	第一性原理计算在纳米生物医学中的应用	219
10.1	第一性原理计算	219
10.1.1	Hartree-Fock 近似	220

10.1.2 密度泛函理论	221
10.2 第一性原理计算在纳米生物学中的应用	223
10.2.1 第一性原理方法在基因诊断方面的应用	224
10.2.2 第一性原理在生物制药领域的应用	225
10.2.3 第一性原理计算在生物医学功能材料设计上的应用	227
10.3 展望	228
参考文献	228

第三篇 诊断和治疗中的纳米光电子技术

第 11 章 光镊、光刀与显微 Raman 光谱——单细胞/单分子研究的利器	233
11.1 概述	233
11.2 激光光镊、光刀及显微 Raman 光谱原理简介	235
11.2.1 光镊原理	236
11.2.2 光刀原理	237
11.2.3 Raman 光谱原理	238
11.3 光镊及 Raman 光谱技术的发展与现状	239
11.3.1 光镊技术的发展与现状	239
11.3.2 Raman 光谱技术的发展与现状	243
11.3.3 光镊、光刀与显微 Raman 光谱的联合应用	245
11.4 在单细胞、单分子研究中的应用	248
11.4.1 光镊与单分子力测量	248
11.4.2 光镊、光刀与单分子/单细胞操控	250
11.4.3 光镊—Raman 光谱与单细胞检测	252
11.4.4 单细胞 Raman 光谱与光谱成像	256
11.5 小结	257
参考文献	258
第 12 章 基于金纳米结构的癌症诊治一体化平台研究进展	264
12.1 纳米金局域表面等离子共振性质及其影响因素	265
12.1.1 纳米金局域表面等离子共振性质	265
12.1.2 纳米金颗粒 LSPR 性质的影响因素	265
12.2 不同形貌纳米金颗粒的制备	271
12.2.1 纳米金壳	271
12.2.2 纳米金棒	272
12.2.3 金纳米笼的制备方法	274

12.3	基于金纳米结构的纳米材料在光学成像与检测中的研究进展	275
12.3.1	金纳米结构在 OCT 成像中的应用	275
12.3.2	金纳米结构在光声成像中的应用	275
12.3.3	金纳米结构在 SERS 检测与成像中的应用	277
12.3.4	金纳米结构在多模式成像中的应用	279
12.4	基于金纳米结构的诊治一体化平台研究进展	282
12.4.1	基于金纳米壳结构的诊治一体化平台研究进展	282
12.4.2	基于纳米金棒的诊治一体化平台研究进展	287
12.4.3	基于金纳米笼的诊治一体化平台研究进展	289
12.5	小结与展望	290
	参考文献	291
第 13 章	脑肿瘤靶向纳米递药系统	294
13.1	被动靶向和主动靶向结合的胶质瘤靶向策略	295
13.1.1	RGD 介导的胶质瘤靶向纳米递药系统	295
13.1.2	CTX 介导的胶质瘤靶向纳米递药系统	297
13.1.3	寡核苷酸介导的纳米递药系统治疗脑胶质瘤	297
13.1.4	复方 TRAIL 脂质体的抗脑胶质瘤研究	298
13.2	双级靶向(主动靶向和主动靶向结合)的脑胶质瘤靶向纳米递药系统	305
13.2.1	TGN 和 AS1411 双级靶向纳米粒治疗脑胶质瘤的研究	305
13.2.2	CDX 修饰的纳米粒的脑胶质瘤靶向治疗	307
13.2.3	ANG 修饰载紫杉醇的聚乙二醇-聚己内酯纳米粒(ANG-PEG-NP-PTX)对脑胶质瘤的双级靶向	309
13.2.4	双级靶向示踪的多模态纳米探针 ANG-Den	312
13.3	小结	314
	参考文献	314
第 14 章	基于纳米光电技术的肝癌早期诊断方法研究	317
14.1	引言	317
14.2	肝癌的现有诊断方法	318
14.3	纳米光电技术在肝癌早期诊断中的潜在应用	319
14.3.1	肝癌血清标志物	320
14.3.2	基于纳米光电技术的微纳传感器	322
14.3.3	纳米技术在肝癌早诊中的应用	324
14.4	小结	327
	参考文献	327

第 15 章 基于纳米技术的干细胞心肌补片的研制与应用	330
15.1 组织工程心肌补片的研究概况	330
15.1.1 干细胞的选择	330
15.1.2 支架材料的设计	332
15.1.3 支架材料的表面设计	333
15.1.4 组织工程技术的设计和实施	335
15.2 纳米技术在干细胞心肌补片中的研究进展	336
15.2.1 干细胞的选择	336
15.2.2 支架材料纳米化的设计	336
15.2.3 表面纳米拓扑结构	339
15.2.4 纳米载体	340
15.3 小结	341
参考文献	341

第四篇 生物医学传感的纳米光电子器件

第 16 章 基于大 π 键共轭体系的光电生物传感应用	347
16.1 引言	347
16.2 基于石墨烯的电子生物传感	347
16.2.1 石墨烯的制备和表征	349
16.2.2 石墨烯场效应晶体管传感器	351
16.3 基于水溶性共轭聚合物的细胞荧光成像	357
16.3.1 聚合物结构	358
16.3.2 生物成像	360
16.4 小结	367
参考文献	367
第 17 章 纳米 ZnO 生物传感器	371
17.1 生物传感器概述	371
17.2 ZnO 纳米结构的生长与基本性质	372
17.3 纳米 ZnO 的光学性质	375
17.4 纳米 ZnO 用于生物分子组装与传感的优势	376
17.5 纳米 ZnO 在酶传感器中的应用	377
17.5.1 酪氨酸酶传感器	377
17.5.2 辣根过氧化物酶	379
17.5.3 葡萄糖氧化酶	379

17.6	纳米 ZnO 免疫传感器	381
17.7	纳米 ZnO 凝集素传感器	382
17.8	小结	385
	参考文献	385
第 18 章	复合纳米结构光学探针及其生物传感应用	390
18.1	光学探针的研究背景	390
18.2	复合纳米结构光学探针的设计制备及其特性研究	391
18.2.1	内部掺杂型 Cu:ZnSe/ZnS 核壳量子点	391
18.2.2	以金属纳米聚集体为核的核壳型 SERS 探针	393
18.2.3	SERS-荧光双模式光学探针	394
18.3	复合纳米结构探针在生物传感中的应用	396
18.3.1	活细胞的探测	396
18.3.2	免疫检测	401
18.4	小结	404
	参考文献	404
第 19 章	光子晶体及表面等离子共振在纳米生物医学传感中的应用	407
19.1	背景介绍	407
19.2	传感原理	409
19.3	发展概况及研究进展	410
19.3.1	完美光子晶体	410
19.3.2	光子晶体点缺陷	410
19.3.3	光子晶体线缺陷	411
19.3.4	其他光子晶体结构	412
19.3.5	光子晶体激光器生物传感	412
19.3.6	局域表面等离子共振生物传感	413
19.4	本组的相关工作及传感应用研究	413
19.4.1	一维光子晶体缺陷腔	414
19.4.2	双层光子晶体薄板	414
19.4.3	光子晶体表面模	415
19.4.4	光子晶体自准直传感器	415
19.4.5	光子晶体激光器	416
19.4.6	纳米新月结构传感	418
	参考文献	420
	索引	426
	《半导体科学与技术丛书》已出版书目	429
	彩图	

第一篇 纳米生物学中的 光学成像技术