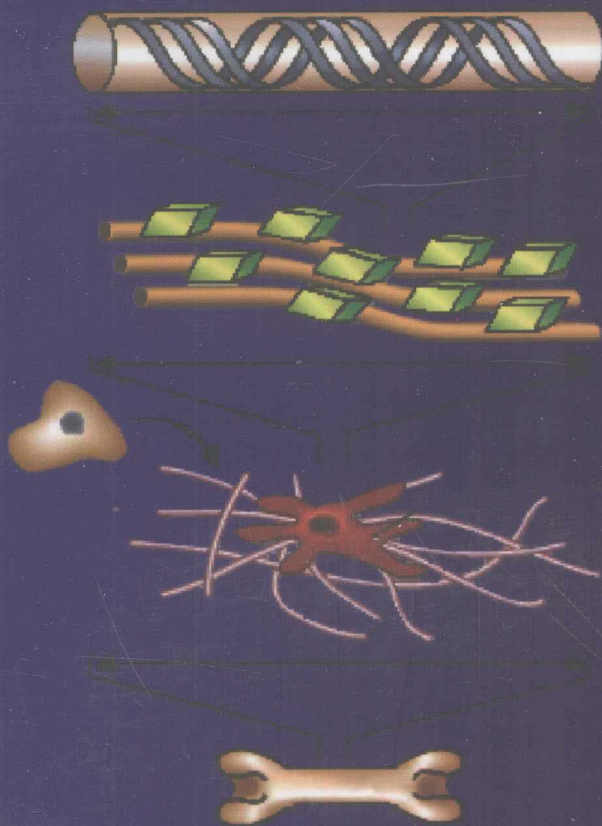


普通高等教育“十二五”规划教材



纳米生物学

43

● 孙恩杰 熊燕飞 谢 浩



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

纳米生物学

孙恩杰 熊燕飞 谢 浩



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材共分7章,分别介绍了纳米技术在制药领域、生物检测方面、中药方面和基因转移中的应用,以及磁性纳米粒在生命科学中的应用和生物分子在纳米组装方面的应用的内容。本书重点介绍纳米技术在生命科学中的应用,针对生物或生命科学专业学生的学习背景,避开过多的物理概念与传统生物学范畴的内容,展开了该领域新兴的技术与理念。

本书可作为各高校生物专业、生命科学专业和相关专业的教材,也可作为从事纳米技术研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

纳米生物学/孙恩杰,熊燕飞,谢浩. —北京:化学工业出版社,2010.7
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-08809-3

I. 纳… II. ①孙…②熊…③谢… III. 纳米材料-应用-生物技术-高等学校-教材 IV. Q81

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第107751号

责任编辑:赵玉清

文字编辑:张赛 周 侗

责任校对:边 涛

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张12½ 彩插2 字数314千字 2010年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00元

版权所有 违者必究

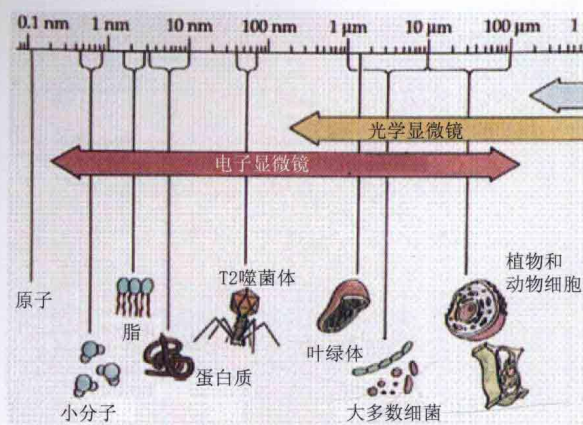


图2-1 生物分子、病毒及细胞器的长度范围示意图

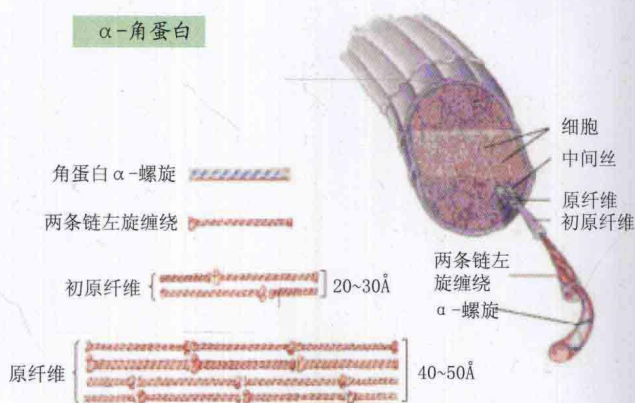


图2-5 毛发的逐级装配示意图

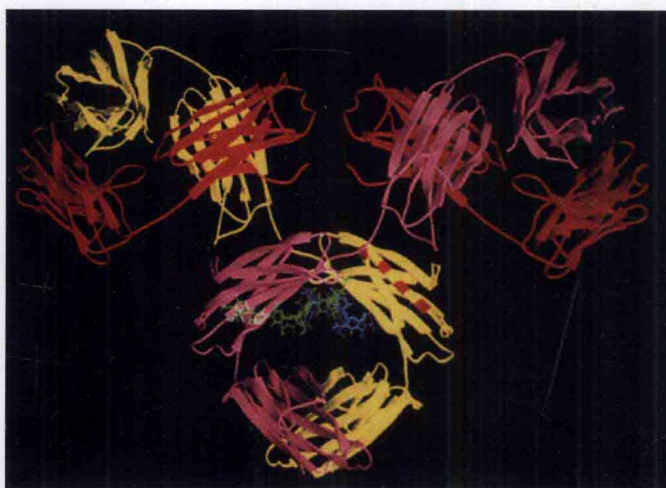


图2-10 抗体的组装结构

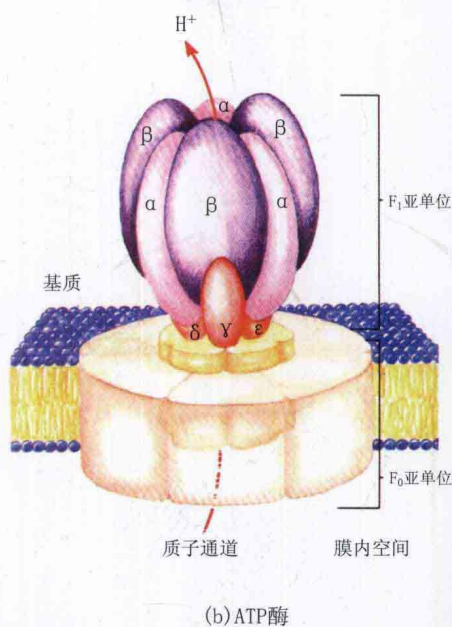
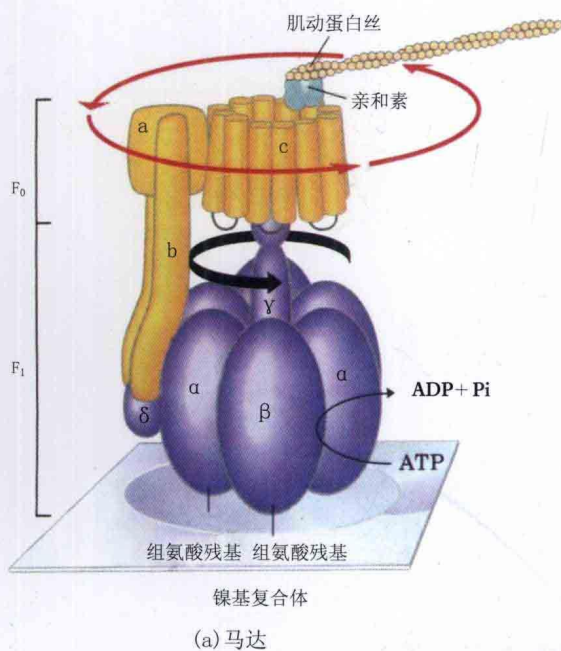
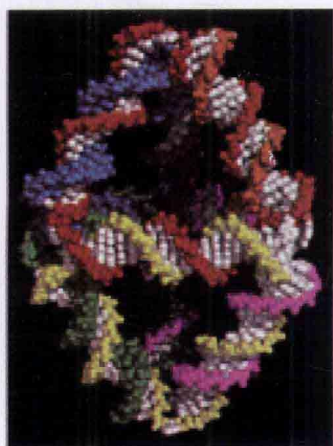
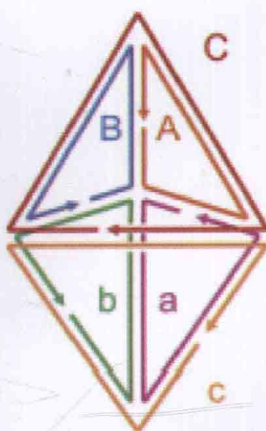


图2-14 利用ATP酶的马达和ATP酶示意图



(a) DNA三角双锥的分子模型



(b) 6条寡核苷酸DNA链的位置

图2-17 DNA三角双锥的分子模型和6条寡核苷酸DNA链的位置

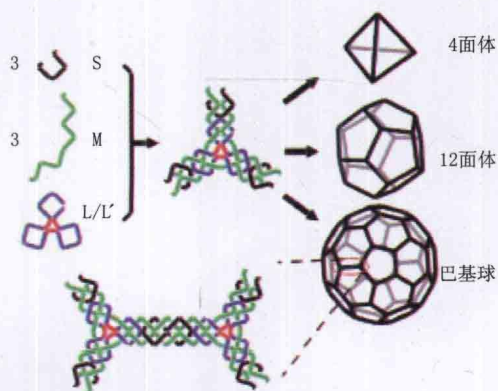


图2-23 DNA组装为多面体的逐级结构

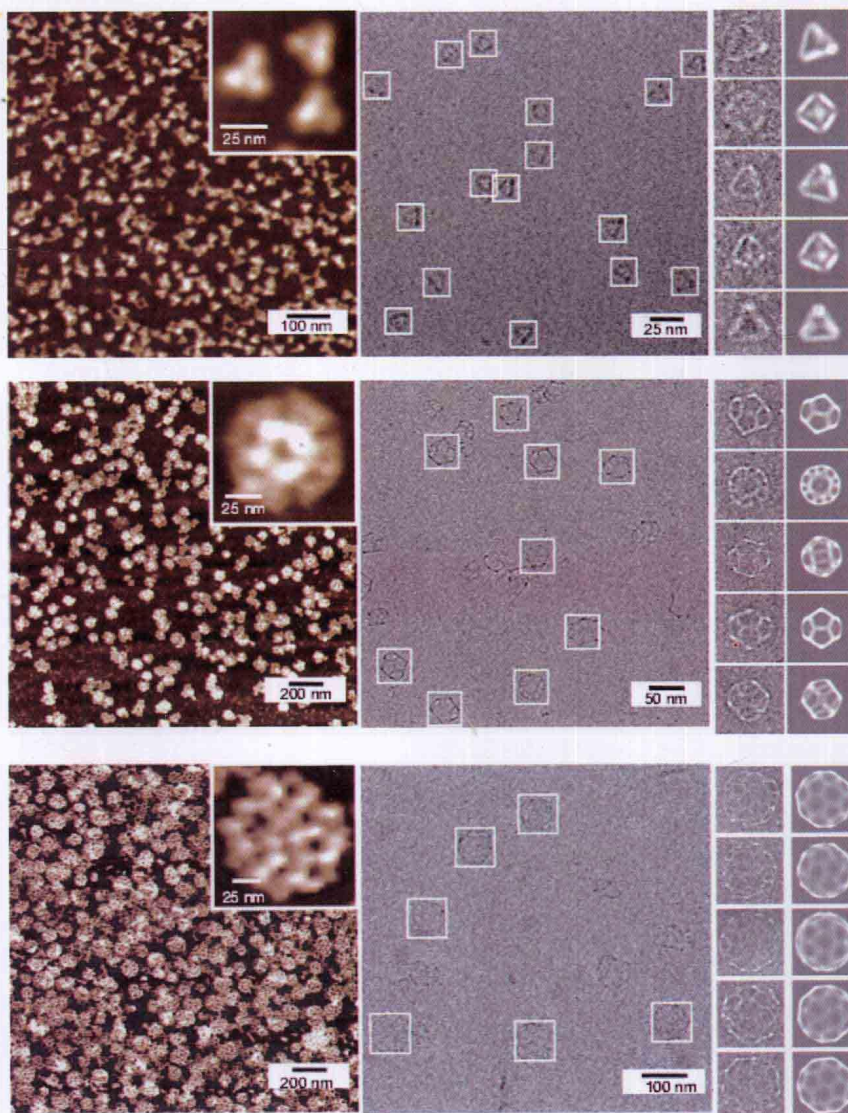


图2-24 实验测得各种多面体的照片

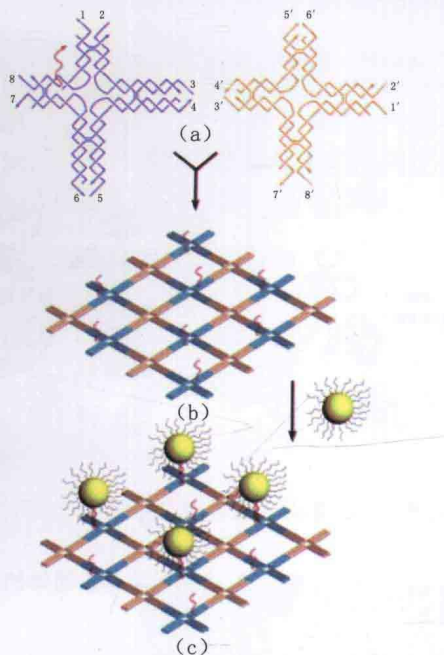


图2-29 DNA网络组装纳米金示意图

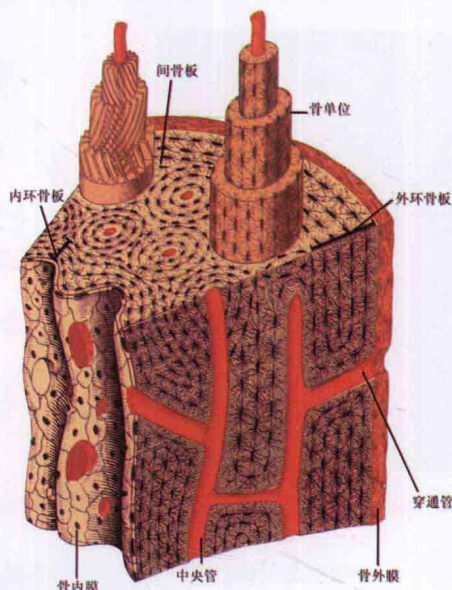


图2-33 长骨骨干立体结构模式图

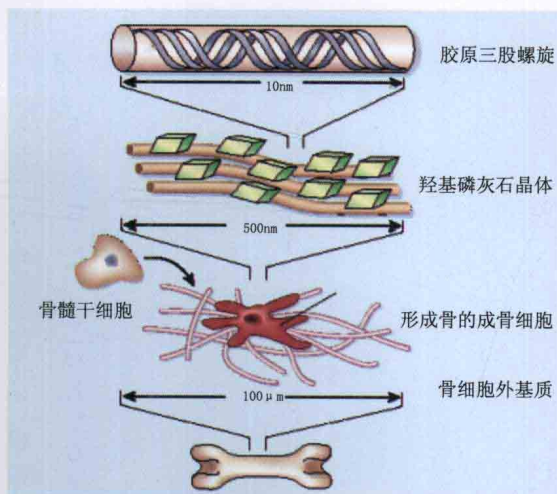


图2-34 种晶在胶原基质上的长大及其模拟示意图

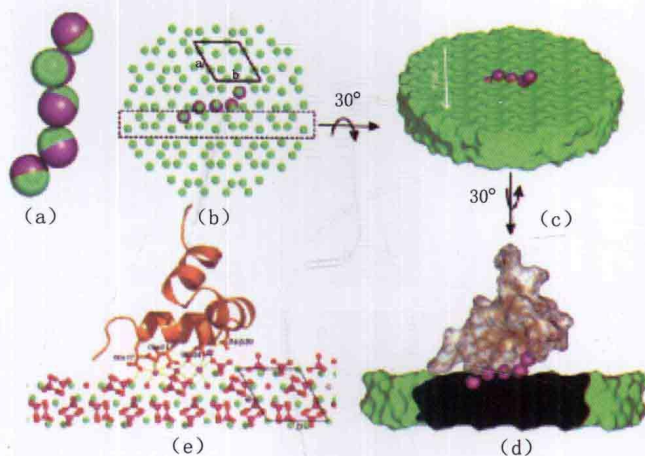


图 2-35 pOC (猪骨钙素) 与HA晶体中 Ca^{2+} 晶格的结合模型 (紫色为pOC, 绿色为HA)

(a) pOC与HA晶体中 Ca^{2+} 的排列方式; (b), (c) pOC 结合球状HA - Ca晶格中 (b) 和HA表面上 (c) 的钙离子的方向; (d) pOC在HA表面; (e) pOC - HA界面处Ca—O键网络结构, 黄色断键为离子键

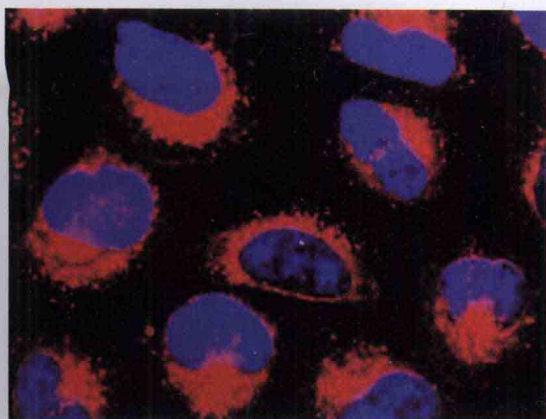


图3-1 梁伟等研制的载阿霉素聚乙二醇衍生化磷脂纳米胶束进入肿瘤细胞内
图中蓝色为细胞核, 红色为新型输送载体带着传统化疗药物阿霉素

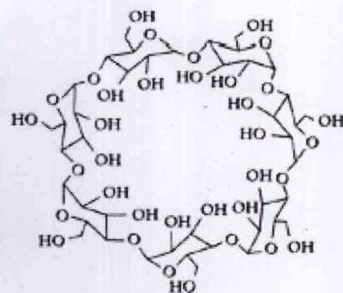
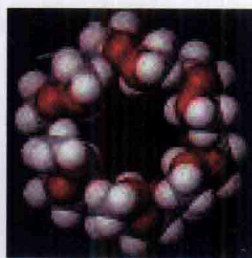


图3-6 β -环糊精的立体结构

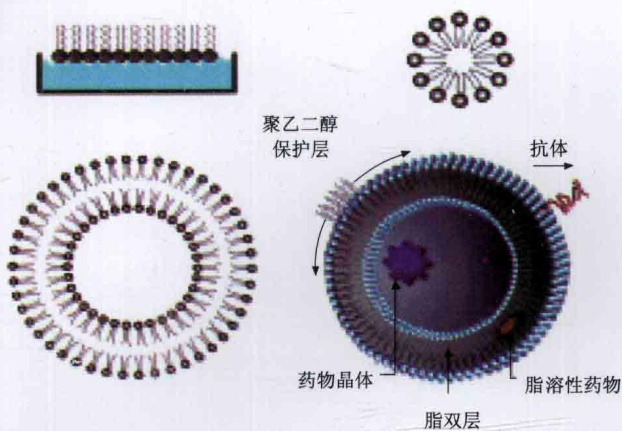


图3-14 脂质体表面可进行特异性修饰而获得新的性能

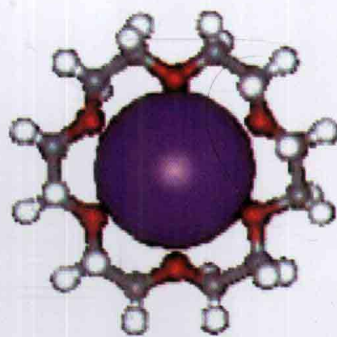


图3-23 环糊精分子包合物

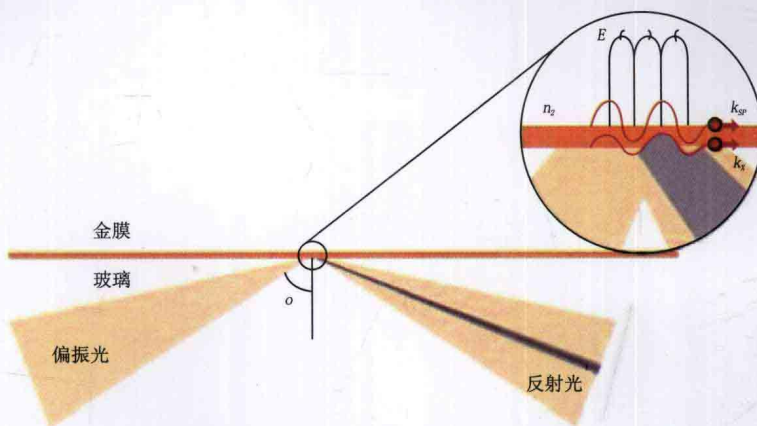


图6-3 表面等离子体共振示意图

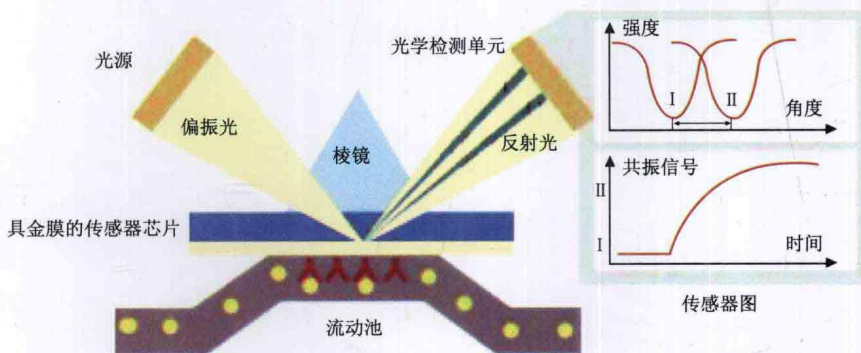


图6-4 SPR检测原理示意图

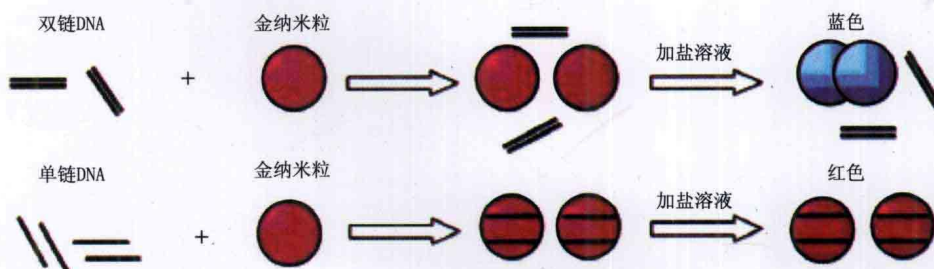


图6-17 比色法检测单链DNA和双链DNA示意图

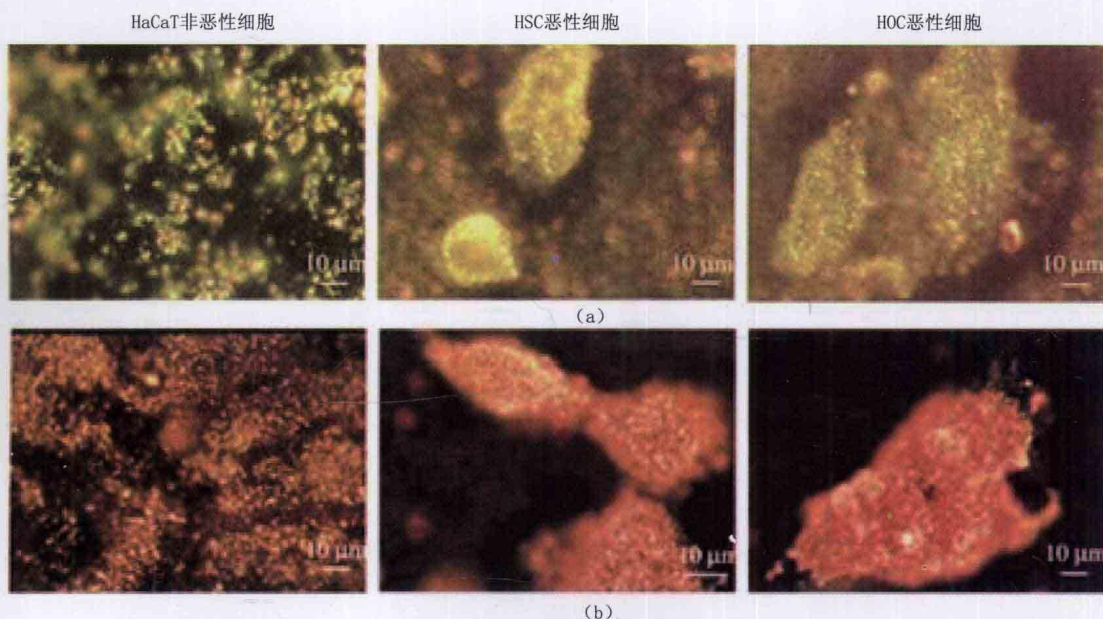


图6-18 anti-EGFR Au纳米球 (a) 和 anti-EGFR Au 纳米棒(b), 分别与 HaCaT细胞、HSC 细胞和 HOC 细胞在室温下孵育30min后的光散射照片

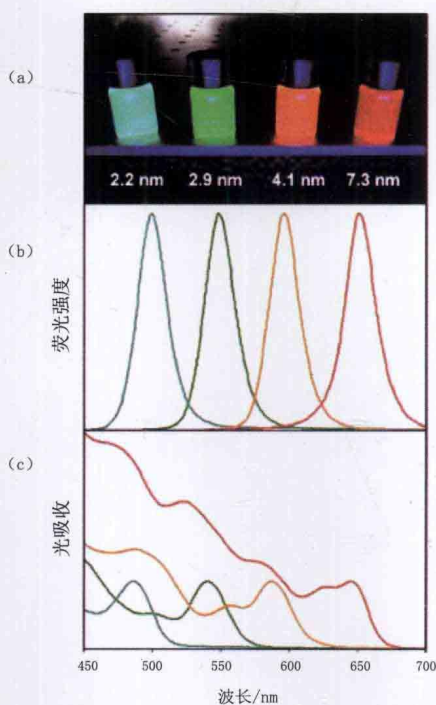


图6-31 4种不同粒径的CdSe量子点的荧光及其发射、吸收光谱
(a) 荧光照片; (b) 在紫外光激发下的发射光谱; (c) 吸收光谱

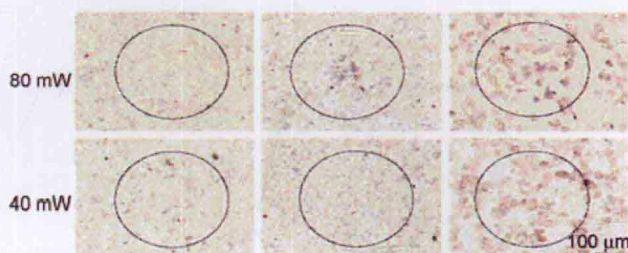


图6-30 anti-EGFR Au纳米棒与癌细胞孵育后, 选择性光热治疗杀死癌细胞

癌细胞1 (左列)、癌细胞2 (中列)、良性肿瘤细胞 (右列) 经不同激光功率照射, 台盼蓝染色后的显微镜成像

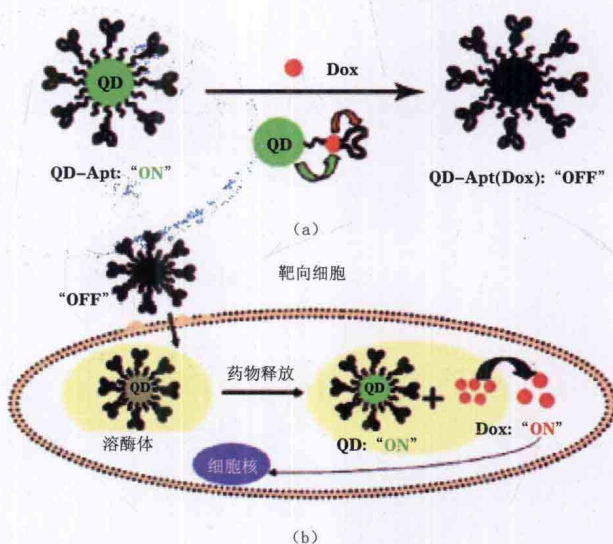


图6-35 QD-适体-阿霉素荧光共振能量转移示意图
Apt-核酸适配体; ON-有荧光; OFF-无荧光

前 言

纳米生物学在武汉理工大学生物系开设已经有 4 届，内容也随着纳米技术的发展不断更新和补充。在授课的过程中，我们对该课程的内容形成了一定的认识，认为纳米技术与生命科学的交叉产生了三个比较闪光的方向。第一个方向是纳米技术在制药领域的应用，形成纳米医药的应用方向，该方向的突出特点是应用较为成熟，已经在新药设计与研发中得到良好应用。第二个方向是纳米技术在生物检测方面的应用，对于提高生物检测的灵敏度和大通量都很有帮助，该方向无论应用和新颖性都比较突出。第三个方向是生物分子如 DNA、蛋白质在纳米组装方面的应用，产生了令人兴奋的新方法和新概念，该方向的应用可能还为时尚早，但其新颖性却非常突出，很有创意。了解这些内容无疑对于提高学生认知水平大有裨益，因此这三方面内容在本书中分别在第 2、第 3、第 6 章介绍。鉴于中药是比较特殊的药物，因此纳米技术在该方面应用有独特意义，因此单独成章即第 4 章。磁性纳米粒在生命科学中的应用可以说很有影响，虽然范围很小，但是内容却也丰富，因此也单独成章，成为第 5 章。最后基因转移无论是传统的方法还是现在的方法，除了生物学方法外，基本上都属于纳米体系，因此本书中也单独成章来讲述，即第 7 章。

本书取名《纳米生物学》，是希望能区别于该类其他书籍比较注重纳米医药的特点，即本书有较多关于生物分子在纳米技术中应用的内容。本书还比较注重的是与其他生物学和纳米技术的区别，在一些纳米生物学书籍中往往包含过多的传统生物学范畴的内容，对于生物专业或生命科学专业的学生学习有重复之嫌，本书则针对生物或生命科学学生学习之用，摒弃重复，重点介绍新内容。还有一些类似专题的书中介绍过多物理概念、材料方法，对于生命科学学生的学习也不利，因此本书重点介绍与纳米研究有关的方法，避开对于生物系学生而言生涩的概念，对于一些难懂的原理，本书用相对科普的方式让生物、生命科学领域的学生易于接受。

虽说有上述诸方面的考虑，但是纳米技术和生命科学技术发展飞快，两学科的交叉也有许多不易理解和掌握之处，鉴于笔者水平有限，本书难免存在不尽如人意之处，恳望各界惠予批评指正。

本书第 1、2、4、5、6 章由孙恩杰编写，第 3 章由熊燕飞编写，第 7 章由谢浩编写。

在长期的科研教学工作合作中，作者深受华中科技大学徐辉碧、杨祥良等人的学术思想影响，在此特向他们表示衷心的感谢。也向纳米技术与生命科学交叉领域做出卓越贡献的学者、专家致以崇高的敬意，正是他们的灵感赋予了本书灵魂。

编者

2010 年 5 月

目

录

第 1 章 绪论	1
1.1 纳米技术发展历程	1
1.2 扫描隧道显微镜和原子力显微镜	1
1.2.1 扫描隧道显微镜	1
1.2.2 原子力显微镜	2
1.3 纳米技术领域国内外早期部署及发展趋势	3
1.4 本书中几个词语的涵盖范畴	7
第 2 章 生命系统中的纳米分子、纳米结构、纳米组件及纳米组装	9
2.1 从纳米体系观点认识生物分子及细胞结构	9
2.1.1 从纳米观点认识蛋白质分子以及蛋白质组装	10
2.1.2 从纳米观点认识核酸、脂、多糖分子	14
2.1.3 生命体系纳米组装的一些思路	15
2.2 生物纳米结构在纳米技术中的应用	16
2.2.1 环肽组装纳米管	16
2.2.2 ATP 合成酶用作旋转马达	17
2.3 基于 DNA 的一些纳米技术应用	18
2.3.1 DNA 分子组装	18
2.3.2 以 DNA 为模板的分子组装	23
2.4 生物技术在纳米技术中的应用	26
2.4.1 磁性纳米粒的制备	26
2.4.2 活的半导体	27
2.4.3 DNA 电子线路	27
2.5 纳米技术在生命体系中的应用	27
2.5.1 纳米管除菌	27
2.5.2 细菌的移动和固定	27
2.5.3 探测单个活细胞的纳米传感器	27
2.5.4 智能药库	28
2.5.5 人工红细胞	28
2.5.6 分子的纳米操纵	29
2.6 生物纳米复合材料	29
2.6.1 骨	29
2.6.2 生物矿化	30
2.7 仿生纳米材料	33
2.7.1 无机生物材料的仿生合成过程	33
2.7.2 仿生复合生物材料——形态、组成仿生	33
2.8 纳米材料的安全性	34
第 3 章 纳米载药系统	35
3.1 概述	35
3.1.1 药物体内过程	35
3.1.2 多肽蛋白类药物特点	38
3.2 纳米制剂的优势与发展状况	38
3.2.1 纳米药物的优势	38
3.2.2 纳米药物发展状况	39
3.3 药物控制释放机制	41
3.3.1 缓释控释包衣	41
3.3.2 骨架型缓释控释系统	42
3.3.3 微球、微囊型控释系统	43
3.3.4 控释微乳	45
3.3.5 脂质体控释系统	45
3.4 纳米药物的吸收、清除及循环	47
3.4.1 纳米药物的吸收	47
3.4.2 纳米药物控释系统的清除及克服	49
3.5 纳米药物载体材料	54
3.5.1 纳米药物控释系统对载体的要求	54
3.5.2 常用纳米药物载体材料	54
3.6 纳米药物控释系统类型	60
3.6.1 聚合物纳米载药系统	60
3.6.2 脂质纳米载药系统	67
3.6.3 微乳载药系统	88
3.6.4 固体分散体和分子包合物	93
3.6.5 纳米悬液	96
第 4 章 纳米技术在现代中药中的应用	97
4.1 中药发展的机遇和挑战	97
4.1.1 中药的发展机遇	97
4.1.2 挑战	97
4.2 纳米技术对中药发展的意义	98
4.2.1 增加药物溶解度, 提高生物利用度, 减少用药, 节约中药资源	98
4.2.2 实现缓、控释和靶向定位给药,	

降低毒、副作用	99	6.1 生物传感原理与器件	123
4.2.3 增强中药原有疗效, 甚至呈现新的疗效	99	6.1.1 生物传感原理简介	123
4.2.4 改变中药传统的给药途径和剂型 ...	99	6.1.2 生物传感器基本构成	124
4.2.5 改善液体药物的性能, 提高其稳定性	100	6.1.3 生物传感器分类	125
第5章 磁性微粒在生物医学领域中的应用	101	6.1.4 生物传感器特点	127
5.1 磁导向给药系统	102	6.1.5 生物传感器中的信号转换器(换能器)	127
5.1.1 磁导向给药系统中的磁性材料 ...	102	6.1.6 分子识别组分固定化方法	131
5.1.2 磁导向给药系统的修饰	102	6.2 纳米生物传感技术	132
5.1.3 磁性靶向纳米载药系统在肿瘤治疗中的应用研究	105	6.2.1 加速电子传递	132
5.1.4 磁性靶向纳米载药系统在其他疾病治疗中的应用	108	6.2.2 催化反应	133
5.1.5 磁性靶向纳米载药系统的优势与局限	108	6.2.3 固定生物分子	134
5.1.6 磁场方面的考虑	108	6.2.4 标记生物分子	135
5.2 磁性纳米粒在磁共振成像中的应用 ...	109	6.2.5 反应控制开关	136
5.2.1 磁共振成像原理简介	109	6.2.6 作为反应物	137
5.2.2 常见超顺磁性氧化铁纳米粒对比剂产品	110	6.3 纳米生物探针	137
5.2.3 超顺磁性氧化铁纳米粒的天然靶向	111	6.3.1 分子信标	137
5.2.4 超顺磁性氧化铁的毒副作用	111	6.3.2 纳米金	147
5.2.5 超顺磁性氧化铁对比剂的增强原理	111	6.3.3 量子点	159
5.2.6 超顺磁性氧化铁在磁共振成像中的临床与非临床应用	111	第7章 纳米技术在基因转移操作中的应用	177
5.3 磁性微粒应用于生物活性物质的分离检测	114	7.1 常见的基因转移方法	178
5.3.1 用于分离的磁性微球的组成及结构	115	7.1.1 物理方法	178
5.3.2 功能化磁性微球用于细胞分离 ...	115	7.1.2 化学方法	179
5.3.3 蛋白质分离、纯化及检测	117	7.1.3 生物方法	180
5.3.4 核酸分离、检测、分析	118	7.2 基因载体系统	180
5.4 磁性微球在酶的固定化中的应用	121	7.3 纳米材料在基因转移中的应用	181
第6章 纳米生物传感原理及应用	123	7.3.1 纳米基因载体概述	182
		7.3.2 基于高分子材料的纳米基因载体	183
		7.3.3 无机纳米基因载体	188
		7.3.4 纳米脂质体	189
		7.3.5 纳米基因载体的靶向转移和基因的可控释放	190
		7.3.6 纳米基因载体的优点和缺点	191
		7.4 纳米技术在基因转移操作中的应用前景	191
		参考文献	192

第 1 章 绪 论

本书虽取名《纳米生物学》，但是包含了大量纳米医药的内容，不限于纳米生物学。纳米生物学的主要研究对象是纳米尺度的生物大分子、细胞器等结构、功能及生物反应机理。而纳米生物医学更侧重于纳米材料及技术在生物医学中的应用，纳米药物则是纳米技术在药物设计、制造中应用的结果。可以说本书是纳米技术与生命科学交叉的产物。

纳米科学技术与生命科学的交叉近 20 多年得到飞速发展，是纳米科学技术发展的必然，因为生命科学领域是纳米技术最早得到应用的领域之一，例如磷酸钙转染法、胶体金在电镜技术中的应用等。细胞内的多数结构本身就是纳米体系、纳米组装结构，这正是纳米技术运用的最恰当领域，也对纳米技术发展有很好的启发，同时还提供了很好的纳米模块或组件。

由于生命科学发展对于生命科学领域的学生和学者比较熟悉，下面简要介绍纳米技术发展历程。在该技术发展过程中扫描隧道显微镜和原子力显微镜两种技术具有极大的推动作用，尤其是原子力显微镜在生命科学研究中的应用还比较广泛，因此，也将对这两种技术做简要介绍。

1.1 纳米技术发展历程

纳米胶体体系很早就提出，但是真正引起人们关注纳米科技的重要人物一般认为是诺贝尔奖获得者 Richard Feynman。1959 年他在加州理工学院发表演讲《自底层构造的丰富结构》(There's Plenty of Room at the Bottom)，并于 1960 年 2 月刊登于“CalTech's Engineering and Science”。他提出：以往制造任何器件或装置都是从大往小做，那么能不能从原子分子开始 (at the bottom) 从小往大做呢？显然今天人们已经开始了各种尝试，但要解决的问题还很多。

1974 年，值得一提是这年第一次提出了纳米技术这个英文单词，它完全是为了描述精细机械加工、微米技术加工精度不够，应当用纳米技术来加工，但当时仅只是一个含义，实际上无法达到纳米技术加工。

1982 年，IBM 公司苏黎世研究实验室发明扫描隧道显微镜 (STM)，该技术后来获得诺贝尔物理学奖。1986 年，发明原子力显微镜 (AFM)。两种显微镜的发明大大促进了纳米技术的发展和进步，此后，纳米技术得到迅猛发展。

1990 年，美国巴尔的摩召开第一届国际纳米会议，标志着纳米科技领域的形成。提出纳米材料学、纳米生物学、纳米电子学和纳米机械学概念，并决定出版纳米结构材料、纳米生物学、纳米技术等学术刊物。

1994 年，第二届国际纳米材料会议，有人预计纳米材料在 21 世纪很可能成为生物医药材料的核心材料。

1.2 扫描隧道显微镜和原子力显微镜

1.2.1 扫描隧道显微镜

扫描隧道显微镜 (scanning tunneling microscope, STM) 的基本原理是利用量子理论

中的隧道效应。将原子线度的极细探针和被研究物质的表面作为两个电极，当样品与针尖的距离非常接近时（通常小于 1nm），在外加电场的作用下，电子会穿过两个电极之间的势垒流向另一电极。这种现象即是隧道效应。隧道电流 I 与针尖和样品之间距离 S 和平均功函数 Φ 有关：

$$I \propto V_b \exp(-A\Phi^{1/2}S)$$

式中， V_b 是加在针尖和样品之间的偏置电压； Φ 为平均功函数，分别为针尖和样品的功函数； A 为常数，在真空条件下约等于 1。

扫描探针一般采用直径小于 1mm 的细金属丝，如钨丝、铂-铱丝等。被观测样品应具有一定导电性才可以产生隧道电流，如图 1-1 所示。

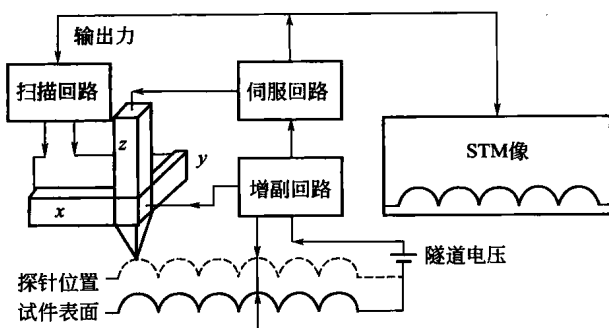


图 1-1 扫描隧道显微镜原理示意图

由上式可知，隧道电流强度对针尖与样品表面之间距离非常敏感，如果距离 S 减小 0.1nm，隧道电流 I 将增加一个数量级。因此，利用电子反馈线路控制隧道电流的恒定，并用压电陶瓷材料控制针尖在样品表面的扫描，则探针在垂直于样品方向上高低的变化就反映出了样品表面的起伏。将针尖在样品表面

扫描时运动的轨迹直接在荧光屏或记录纸上显示出来，就得到了样品表面态密度的分布或原子排列的图像。这种扫描方式可用于观察表面形貌起伏较大的样品，且可通过加在 z 向驱动器上的电压值推算表面起伏高度的数值，这是一种常用的扫描模式。对于起伏不大的样品表面，可以控制针尖高度守恒扫描，通过记录隧道电流的变化亦可得到表面态密度的分布。这种扫描方式的特点是扫描速度快，能够减少噪声和热漂移对信号的影响，但一般不能用于观察表面起伏大于 1nm 的样品。

与其他表面分析技术相比，STM 具有如下独特的优点。

① 具有原子级高分辨率，STM 在平行于样品表面方向上的分辨率分别可达 0.1nm 和 0.01nm，即可以分辨出单个原子。

② 可实时得到实空间中样品表面的三维图像，可用于具有周期性或不具备周期性的表面结构的研究，这种可实时观察的性能可用于表面扩散等动态过程的研究。

③ 可以观察单个原子层的局部表面结构，而不是对体相或整个表面的平均性质，因而可直接观察到表面缺陷、表面重构、表面吸附体的形态和位置，以及由吸附体引起的表面重构等。

④ 可在真空、大气、常温等不同环境下工作，样品甚至可浸在水和其他溶液中，不需要特别的制样技术并且探测过程对样品无损伤。这些特点特别适用于研究生物样品和在不同实验条件下对样品表面的评价。

⑤ 配合扫描隧道谱（STS）可以得到有关表面电子结构的信息，例如表面不同层次的态密度、表面电子阱、电荷密度波、表面势垒的变化和能隙结构等。

⑥ 利用 STM 针尖，可实现对原子和分子的移动和操纵，这为纳米科技的全面发展奠定了基础。

1.2.2 原子力显微镜

原子力显微镜（atomic force microscope, AFM）是一种利用原子、分子间的相互作用

力来观察物体表面微观形貌的新型实验技术。当原子之间的距离在原子线度时，距离远时产生吸引力，距离太近时产生排斥力，如图 1-2 所示。

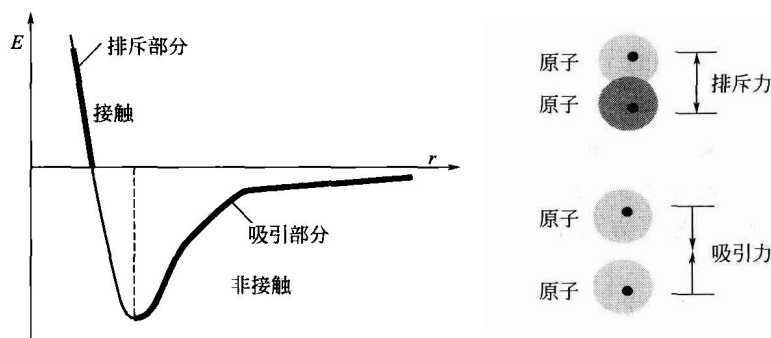


图 1-2 原子间势能与距离关系示意图

在原子力显微镜的系统中，当针尖与样品之间有了交互作用之后，会使得悬臂上下摆动，所以当激光照射在悬臂末端针尖上时，其反射光的位置也会因为针尖摆动而有所改变，检测激光光斑位置改变并转换成电信号，经过信号系统处理，即可得到样品表面形貌，如图 1-3 所示。

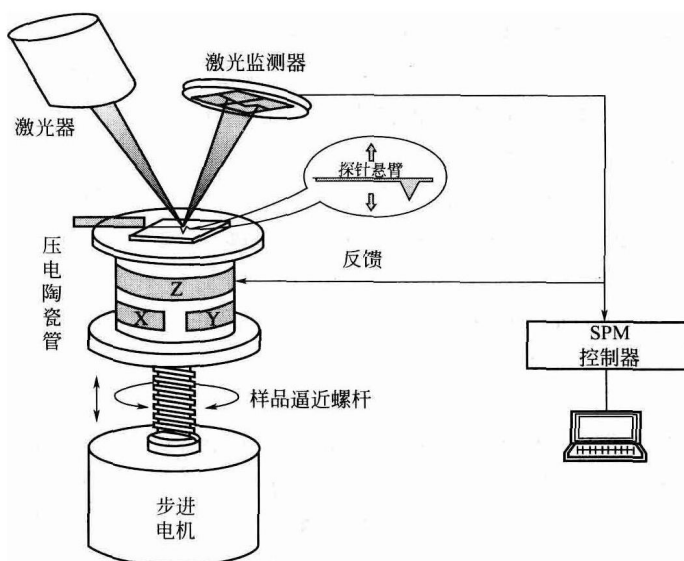


图 1-3 原子力显微镜工作原理示意图

相对于扫描电子显微镜，原子力显微镜具有许多优点。不同于电子显微镜只能提供二维图像，AFM 提供真正的三维表面图。同时，AFM 不需要对样品的任何特殊处理，如镀铜或碳，这种处理对样品会造成不可逆转的伤害。电子显微镜需要运行在高真空条件下，原子力显微镜在常压下甚至在液体环境下都可以良好工作。这样可以用来研究生物宏观分子，甚至活的生物组织。

和扫描电子显微镜 (SEM) 相比，AFM 的缺点在于成像范围太小，速度慢，受探头的影响太大。

1.3 纳米技术领域国内外早期部署及发展趋势

(1) 美国 2001 年 1 月 21 日，前美国总统克林顿宣布了国家纳米技术倡议 (National

Nanotechnology Initiative, NNI), 并在 2001 财年中增加 26 亿美元, 其中 4.95 亿给 NNI。当时的美国政府认为, 今天的纳米技术就如同 20 世纪 50 年代的晶体管, 其科研和产业化将促进美国经济的持续发展, 增强国家科技竞争力, 节约资源和能源。纳米技术是开发未来微型武器的技术基础, 是国防工业的未来。

美国国立卫生研究院 (NIH) 于 2005 年 5 月启动了“十年纳米医学路线图倡议”。美国国立卫生研究院下属癌症研究所 (NCI) 随后提出了一项“癌症纳米技术计划”, 旨在将纳米技术、癌症研究与分子生物学相互结合, 并通过其院外计划、院内计划以及纳米标准实验室等三方面来进行跨领域的工作, 实现其在 2015 年消除癌症死亡和痛苦的目标。

“癌症纳米技术计划”设定了六个主要领域。

① 预防与控制癌症。发展能投递抗癌药物的纳米级设备, 并开发能投递多重抗癌功能疫苗的纳米装备。

② 早期发现与蛋白组学。开发植入式早期侦测癌症生物标记的生物附着分子探测器来收集与癌症相关的生物标记, 用于体内或体外分析, 再用无线装置将分析数据传输给医师; 发展能同时收集大量生物标记进行大量光谱分析的平台性装置。

③ 影像诊断。设计智能型可注入靶向对比介质, 其解析度应达到可辨识单个癌细胞, 并开发可以将构成肿瘤的多个癌细胞的生物及进化多样性加以区分的纳米装置。

④ 多功能治疗设备。开发可以兼具诊断与治疗的纳米装置, 并开发可以依据检测药物有效性来控制药物释放时间模式的智能装置。

⑤ 癌症护理与生活质量的改善。设计可以改善慢性癌症所引发的常见疼痛、沮丧、没有食欲、恶心、呼吸困难等症状, 并提供理想性投药的纳米级装置。

⑥ 跨领域培训。向纳米技术专家提供有关分子生物学和系统生物学培训, 向癌症研究人员提供纳米技术方面的培训; 提供新的跨领域培训与新的学位课程, 以培养熟悉癌症生物学和纳米技术的新一代研究人员。

(2) 其他国家

① 德国 建立或改组 6 个政府与企业联合的研发中心, 并启动国家级研究计划。

② 法国 投资 8 亿法郎建立有 6 万平方米、拥有 3500 人的微米/纳米技术发明中心。配备最先进的仪器设备, 扶植建立创新企业和申请专利。

③ 日本 20 世纪 80 年代初投巨资, 1991 年启用了为期 10 年、耗资 2.25 亿美元的纳米技术研究计划。每年投资 2 亿美元, 用于推动新的研究中心建设和国家级研究计划。

④ 英国 制订了包括机械、光学、电子学等领域的 8 个项目的纳米技术研究计划。

(3) 我国纳米科技的发展及机会 几乎与世界同步。20 世纪 90 年代纳米科技研究内容进入国家重点自然科学基金、攀登计划及国家重点攻关项目。国家科学技术部等有关部门在 2001 年联合发布了《国家纳米科技发展纲要 (2001—2010 年)》(以下简称《纲要》), 主要包括以下内容。

① 纳米材料的基础研究和应用研究。

② 纳米器件的构筑和集成技术。

③ 纳米加工与制备的科学技术。

④ 纳米尺度结构分析和性能研究。

⑤ 纳米技术在医药卫生中的应用。

⑥ 自主开发制备、检测和研究装置。

由中国科学院和教育部联合共建的国家纳米中心 (<http://www.nanoctr.cn/index.jsp>) 已成立多年。国家卫生部也已成立纳米生物技术重点实验室。

(4) 纳米科技发展 纳米科技广阔的市场前景,吸引了各国政府、科技界和产业界的广泛关注,投入的研究经费也不断加大。

中国在2006年初国务院制定的《2006—2020年国家中长期科学和技术发展规划》中将纳米科学列入了这段时期内基础科学研究的四个主要方向之一,将纳米材料和纳米器件作为发展先进材料的重点目标。与纳米技术相关的重点研发项目有:纳米电子学和纳米生物学的核心技术;新功能材料的研发及工业化;发展亚微米尺度上的微纳电子机械系统。

在“十五”期间,中国在纳米科学和纳米技术的研究开发中已经取得了长足的进步。由中国的研究人员撰写的与纳米科技有关的论文数以年均30%左右的速度增长。近年据美国《科学引文索引》核心期刊发表论文数统计显示,中国纳米科技论文总数已位居世界前列,其中不乏在《科学》和《自然》等世界著名科技期刊上发表的研究结果。据不完全统计,国内目前已有50多所大学,以及中国科学院的20多个研究所和300多个企业在从事与纳米科技相关的研发。随着纳米科技研究领域取得的一系列实质性进展,对由学术界和工业界组成的具有技术孵化功能的多学科交叉研究平台的需求变得更为强烈。为此,中国建立了若干跨学科研究中心,通过资源的共享,促进和加强从事不同领域研究机构之间的合作。在北京成立的国家纳米科学中心和在上海成立的国家纳米技术工程中心是对跨学科合作研究和促进技术转化的重要补充。

纳米科技的发展主要有以下几个趋势。

① 由基础研究向应用研究和产业化方向发展。在早期纳米科技的基础研究之后,纳米技术逐步向物理、化学、新材料、信息技术、生物技术、医学、国防、环境、能源、农业与食品等领域渗透,已在众多领域取得了重大进步,一些纳米技术已经投入市场应用。2005年,纳米产品市场达到320亿美元,是2004年的2倍以上。美国卢卡斯研究公司预测,到2014年全球将有价值2.6兆美元的产品采用纳米技术。

② 由单一学科向多学科交叉和融合的方向发展。纳米科技是一门综合性学科,涉及物理、化学、生物、材料、信息等几乎所有领域,具有高度学科交叉性。生物技术和信息技术的研究将汇聚在纳米尺度上,其进一步发展有赖于纳米科技的突破,同时,这些发展使纳米技术、生物技术和信息技术的联系更加紧密。

③ 更加重视仪器的研发。

④ 以材料为基础向生物和电子方面的应用发展。

⑤ 更加关注纳米生物效应评估问题。进入21世纪以来,大规模生产的各种人造纳米材料已经在近千种消费产品和工业产品中广泛使用。然而,科学是把双刃剑,在造福人类的同时,也可能给人类带来危害,纳米科技也不例外。如何驾驭纳米科技,使之造福而不伤害人类,既是科学界面临的挑战,也是各国政府发展纳米科技不得不面对的问题。2005年后半年,欧美各国除了急剧增加研究经费以外,在国家层面上,6个月之内对“纳米安全性问题”采取了12次紧急行动(见表1-1)。2005年至2006年前两个月,国际上召开了多达15次与“纳米安全性”相关会议(见表1-2)。各国政府、科学界、企业界等纷纷发表关于纳米材料安全性的调研报告。以美国、欧洲为首的各国政府相继组织力量,研究纳米材料对健康的影响,寻找纳米生物效应的解决方案。

表 1-1 2005 年后半年欧美政府对纳米安全问题的部分行动与部署

时间	国家(地点)	政府部委	行动与部署
7 月 11~12 日	英国(伦敦)	英国、日本	举行英国、日本两国双边“纳米安全性”会议
7 月 14~15 日	布鲁塞尔欧盟总部	欧盟科技委员会	组织各国政府召开政府间“负责任地从事纳米技术研究开发应用”国际对话会议
10 月 1 日	美国(华盛顿)	美国政府	发布:“通向安全纳米技术的路径”(Approaches to Safe Nanotechnology)
10 月 5 日	美国(华盛顿)	美国国立环境法律研究所	发布:“美国环境法律适合纳米技术的安全保障吗?”(Securing the Promise of Nanotechnology: Is US Environmental Law Up To the Job?)
10 月 20~21 日	美国(华盛顿)	国防部、能源部、陆军、商务部、NASA、美国环保署、自然科学基金会、NIH 等	举行联合会议,讨论如何针对纳米材料对人体健康和环境的影响的采取对策(Workshop on Healthy & Environmental Effects of Nanomaterials)
11 月 17 日	美国(华盛顿)	美国国会	纳米安全性听证会,建议成立“国家纳米技术毒理学计划”——“National Nanotechnology Toxicology Initiative”
11 月 18 日	美国(华盛顿)	美国政府	国家纳米协调办公室主任 Clayton Teague 宣布,联邦政府 24 个部委完成了“纳米安全性”问题调研,要优先支持安全性研究
11 月 30 日	英国(伦敦)	英国政府	英国政府发布官方的“纳米安全报告”
11 月 30 日	英国(伦敦)	英国政府	英国政府发布《纳米安全性研究纲要》
12 月 2 日	美国(华盛顿)	美国政府	发布:“纳米技术白皮书”——Nanosafety 问题
12 月 3 日	英国(伦敦)	英国皇家学会皇家工程学会	宣布,将以前零散的研究课题组织成为系统的“纳米安全研究计划”
12 月 7~9 日	美国(华盛顿)	美国政府	以 OECD 名义组织世界各国政府讨论,如何在国家层面上采取行动,及时推进“人造纳米材料安全性”工作

表 1-2 2005 年至 2006 年上半年与纳米生物效应与安全性问题相关的部分国际会议

时间	国家(地点)	组织者	会议名称
2005 年 3 月、8 月 2006 年 3 月	美国	美国化学会	229th、230th、231st 美国化学会年会——纳米毒理学专题
2005 年 5 月 1~5 日	德国(波恩)	德国环境科学研究所	纳米颗粒对健康的影响——分子与细胞水平
2005 年 6 月 17 日	瑞典(斯德哥尔摩)	瑞典皇家科学院	瑞典前沿科学会议讨论纳米安全性问题
2005 年 10 月 3~6 日	美国(明尼苏达)	明尼苏达大学 Rice 大学	第 2 届纳米技术与其职业健康影响
2005 年 10 月 7~12 日	法国	细胞分子生物学(CMB)国际委员会	第四届细胞分子生物学世界大会——“纳米技术与生物安全性”专题
2005 年 10 月 25~28 日	美国(佛蒙特州)	美国环境保护署美国毒理学会	吸入纤维与纳米颗粒对肺与新血管疾病的作用和机理
2005 年 10 月	德国(柏林)	德国	纳米安全会议(Nanosafety Workshop)
2005 年 11 月 3~4 日	中国-美国(厦门)	美国科学院中国科学院	第 8 届中美前沿科学会议——纳米材料生物效应与安全性设为专题
2005 年 11 月 9~11 日	英国(伦敦)	国际标准化组织(ISO)	国际标准化组织的纳米安全会议(Nanosafety)