



国家卫生健康委员会“十三五”规划教材



教育部生物医学工程专业教学指导委员会“十三五”规划教材

BME

全国高等学校教材

供生物医学工程等专业用

生物医学传感技术

主 审 彭承琳 王明时
主 编 王 平 沙宪政
副主编 史学涛 吴春生 阮 萍



人民卫生出版社





国家卫生健康委员会“十三五”规划教材



教育部生物医学工程专业教学指导委员会“十三五”规划教材

BME

全国高等学校教材

供生物医学工程等专业用

生物医学传感技术

主 审 彭承琳 王明时
 主 编 王 平 沙宪政
 副主编 史学涛 吴春生 阮 萍

编 者(以姓氏笔画为序)

万 浩	浙江大学	吴春生	西安交通大学
王 平	浙江大学	沙宪政	中国医科大学
王 晶	大连医科大学	张 素	上海交通大学
王学民	天津大学	陈庆梅	江西中医药大学
史学涛	第四军医大学	易长青	中山大学
刘晓冬	清华大学	胡 宁	重庆大学
刘加峰	首都医科大学	席建忠	北京大学
刘盛平	重庆理工大学	曹 东	广州中医药大学
阮 萍	广东药科大学	曾红娟	电子科技大学



人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物医学传感技术/王平,沙宪政主编. —北京:
人民卫生出版社,2018

全国高等学校生物医学工程专业首轮“十三五”规划
教材

ISBN 978-7-117-27104-2

I. ①生… II. ①王… ②沙… III. ①生物传感器-
高等学校-教材 IV. ①TP212.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 182140 号

人卫智网 www.ipmph.com 医学教育、学术、考试、健康,
购书智慧智能综合服务平台
人卫官网 www.pmph.com 人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

生物医学传感技术

主 编:王 平 沙宪政

出版发行:人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址:北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编:100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线:010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷:河北新华第一印刷有限责任公司

经 销:新华书店

开 本:850×1168 1/16 印张:20

字 数:592 千字

版 次:2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号:ISBN 978-7-117-27104-2

定 价:59.00 元

打击盗版举报电话:010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

生物医学工程(biomedical engineering, BME)是运用工程学的原理和方法解决生物医学问题,提高人类健康水平的综合性学科。它在生物学和医学领域融合数学、物理、化学、信息和计算机科学,运用工程学的原理和方法获取和产生新知识,促进生命科学和医疗卫生事业的发展,从分子、细胞、组织、器官、生命系统各层面丰富生命科学的知识宝库,推动生命科学的研究进程,深化人类对生命现象的认识,为疾病的预防、诊断、治疗和康复,创造新设备,研发新材料,提供新方法,实现提高人类健康水平、延长人类生命的伟大使命。

1952年,美国无线电工程学会(IRE)成立了由电子学工程师组成的医学电子学专业组(Professional Group on Medical Electronics, PGME)。这是BME领域标志性事件,这一年被认为是BME新纪元年。1963年IRE和美国电气工程师学会(AIEE)合并组建了美国电气电子工程师学会(IEEE)。同时PGME和AIEE的生物学与医学电子技术委员会合并成立了IEEE医学和生物学工程学会(IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE EMBS)。1968年2月1日,包括IEEE EMBS在内的近20个学会成立了生物医学工程学会(Biomedical Engineering Society, BMES)。这标志着BME作为一个新型学科在发达国家建立起来。

1974年南京军区总医院正式成立医学电子学研究室,后更名为医学工程科。这是我国第一个以BME为内涵的研究单位。1976年,以美籍华人冯元祯教授在武汉、北京开设生物力学讲习班为标志,我国的BME学科建设开始起步。1977年协和医科大学、浙江大学设置了我国第一批BME专业,1978年BME专业学科组成立,西安交通大学、清华大学、上海交通大学相继设置BME专业,1980年中国生物医学工程学会(CSBME)和中国电子学会生物医学电子学分会(CIEBMEB)成立。1998年,全国设置BME专业的高校17所。2018年,全国设置BME专业的高校约160所。

BME类专业是工程领域涵盖面最宽的专业,涉及的领域十分广泛。多学科融合是

BME 类专业的特质。关键领域包括:生物医学电子学,生物医学仪器,医学成像,生物医学信息学,生物医学材料,生物力学,仿生学,细胞,组织和基因工程,临床工程,矫形工程,康复工程,神经工程,制药工程,系统生理学,生物医学纳米技术,监督和管理,培训和教育。

BME 在国家发展和经济建设中的重要战略地位,是医疗卫生事业发展的重要基础和推动力量,其涉及的医学仪器、医学材料等是世界上发展迅速的支柱性产业。高端医学仪器和先进医学材料成为国家科技水平和核心竞争力的重要标志,是国家经济建设中优先发展的重要领域,需要大量专业人才。

我国 BME 类专业设置四十余年,涉及高校一百多所,却没有一部规划教材,大大落后于当前科学教育发展需要。为此教育部高等学校生物医学工程类教学指导委员会(下称“教指委”)与人民卫生出版社(下称“人卫社”)经过深入调研,精心设计,启动“十三五”BME 类规划教材建设项目。

规划教材调研于 2015 年 11 月启动,向全国一百余所高校发出调研函,历时一个月,结果显示开设 BME 类课程三十余门,其中(因被调研学校没有回函)缺材料类相关课程。若计及材料类课程,我国 BME 类专业开设的课程总数约 40 门。2015 年 12 月教指委和人卫社联合召开了首次“十三五”BME 类规划教材(下简称“规划教材”)论证会。提出了生物医学与生物医学仪器、生物医学光子学、生物力学与康复工程、生物医学材料四个专业方向第一轮规划教材的拟定目录。确定了主编、副主编及编者的申报与遴选条件。2016 年 12 月教指委和人卫社联合召开了第二次规划教材会议。会上对规划教材的编著人员的审查和教材内容的审定进行了研究和落实。2017 年 7 月召开了第三次规划教材会议,成立了规划教材评审委员会(见后表),进一步确定编写的规划教材目录(见后表)和进度安排。与会代表一致认为启动和完成“十三五”规划教材是我国 BME 类专业建设意义重大的工作。教材评审委员会对教材编写提出明确要求:

- (1) 教材编写要符合教指委研制的本专业教学质量国家标准。
- (2) 教材要体现 BME 类专业多学科融合的特质。
- (3) 教材读者对象要明确,教材深浅适度。
- (4) 内容紧扣主题,阐明原理,列举典型应用实例。

本套教材包括三类共 18 种,分别是导论类 3 种,专业课程类 13 种,实验类 2 种。详见后附整套教材目录。

本套教材主要用于 BME 类本科,以及在本科阶段未受 BME 专业系统教育的研究生教学使用,也可作为相关专业人员培训教材使用。

全国高等学校生物医学工程专业首轮规划教材

评审委员会

顾 问

李兰娟 余梦孙 王威琪 王明时 彭承琳 郑筱祥
董秀珍 黄诒焯 胡广书 陈武凡 陈思平 徐学敏

主任委员

万遂人 东南大学

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王广志 清华大学	刘志成 首都医科大学
尹光福 四川大学	段会龙 浙江大学
吕毅 西安交通大学	骆清铭 华中科技大学
邬洁 人民卫生出版社	

委 员 (以姓氏笔画为序)

王平 浙江大学	汪源源 复旦大学
王智彪 重庆医科大学	张建保 西安交通大学
史学涛 第四军医大学	陈晓峰 华南理工大学
冯前进 南方医科大学	金东 《中国医疗设备》杂志社
尧德中 电子科技大学	郑小林 重庆大学
朱怀球 北京大学	赵俊 上海交通大学
刘常春 山东大学	赵会娟 天津大学
李金 哈尔滨工程大学	徐桂芝 河北工业大学
李劲松 浙江大学	康雁 东北大学
李德玉 北京航空航天大学	彭屹 北京协和医学院
汪天富 深圳大学	廖洪恩 清华大学

秘 书 长

李志勇 东南大学 刘水 人民卫生出版社

主审简介



彭承琳

男,1936年3月生于四川省巴中市,重庆大学教授,博士生导师,生物医学工程学学术带头人,曾任国家教委生物医学工程专业教学指导委员会委员,全国工科电子类专业教学指导委员会委员,重庆大学生物工程学院副院长,现任重庆大学生物工程学院兼职教授,教学督导专家组组长,重庆大学生物医学电子工程研究所所长,全国生物医学工程领域工程硕士教育协作组副组长,全国医疗器械评审专家委员会委员,重庆市生物医学工程学会名誉理事长,中国电子学会生物医学电子学会顾问,中国仪器仪表学会医疗仪器分会顾问,中国生物医学工程学会医学测量分会顾问,美国纽约科学院院士。

任《国际生物医学工程学杂志》、《国外医学生物医学工程分册》等10余种杂志编委;在国内外学术刊物发表论文100余篇,主编教材3部,包括国家级重点教材《生物医学传感器原理与应用》,参编教材《生物医学信号处理》和《生物医学工程进展》;获国家发明专利9项、实用新型专利7项,获省部级科技进步奖、技术发明奖、教学成果奖各1项;重庆大学伯乐奖及优秀教师奖获得者,共指导培养硕士生112名,博士生及博士后23名,有2名博士生获全国优秀博士论文提名奖;1993年获国务院特殊津贴,2010年获中国生物医学工程学会终身贡献奖。



王明时

男,1935年生,教授,博士生导师,黑龙江人,九三学社中央常委,天津大学生物医学工程学科创始人,曾任天津大学生命科学与工程研究院副院长,生物医学工程研究所所长,日本东京大学客座教授,曾任中国生物医学工程学会副理事长,教育部生物医学工程教学指导委员会主任,全国生物医学工程领域工程硕士指导委员会主任,中国生物医学工程学会生物医学传感技术分会主任委员,国家科技进步及发明奖评审委员等职,曾任第九届全国人大常委会委员。

1981年参加由教育部领导的第一部生物医学工程专业教学大纲制订工作。期间多次参加制定生物医学工程学科的教育大纲和培养目标以及专业教材编写的制定工作。长期从事以探索脑科学为核心的人体生理和病理信息检测和分析的研究。近30多年来承担并完成国家自然科学基金、“863”计划、国家重点攻关项目等约40项,在核心刊物上发表论文约200余篇,获得国家发明奖2项,省部级二等奖6项,国家发明专利7项;主编了《医用传感器与人体信息检测技术》《现代传感技术》《医院信息系统》等10本专著;培养博士和硕士研究生70余名,博士后4名。

主编简介



王 平

1962年5月出生,浙江大学生物医学工程系教授,博士生导师,求是特聘教授,国家杰出青年基金获得者,入选国家百千万人才工程,全国优秀科技工作者,全国百篇优秀博士论文提名奖获得者导师,获国务院政府特殊津贴,浙江省新世纪学术技术带头人重点培养人员和151人才一层次,浙江大学生物传感器国家专业实验室主任,生物医学工程教育部重点实验室主任。

1984、1987、1992年在哈尔滨工业大学电气工程系电磁测量与仪器专业分别获学士、硕士和博士学位,1992—1994年浙江大学仪器仪表博士后流动站博士后;2002和2005年在美国西方储备大学和阿肯色大学等做访问学者。国际生物传感器与生物电子学会议组织委员会委员,国际嗅觉与化学传感技术学会成员,国际化学传感器会议组织委员会亚太区委员,亚洲化学传感器会议组织委员会委员,全国高校传感技术研究会副理事长,中国生物医学工程学会生物医学测量分会前主任委员,中国生物医学工程学会生物医学传感技术分会副主任委员,中国电子学会离子敏生物敏专业委员会副主任委员等。任国际刊物 *Microsystems & Nanoengineering* (*Nature* 子刊)、*Scientific Journal of Microelectronics* 等编委;*Biosensors & Bioelectronics*、*Sensors & Actuators A, B*、*IEEE Sensors Journal*、*Sensors Letters* 及 *Sensors and Materials* 等刊物特约编辑和审稿人;《传感技术学报》副主编、《中国生物医学工程学报》以及《国际生物医学工程杂志》等编委。



沙宪政

1963年2月出生,现任中国医科大学生物医学工程专业教授,中国医科大学公共基础学院院长,生物医学工程系主任,生物医学工程教研室主任,中国生物医学工程学会理事,中国生物医学工程学会生物医学传感技术分会主任委员,中国生物医学工程学会生物医学测量分会委员,辽宁省生命科学学会副会长。

1983年毕业于山东大学无线电电子学专业,在中国医科大学从教三十多年,主要致力于生物医学工程专业教学、科研和医疗器械研发工作。长期承担生物医学工程及相关专业生物医用传感器、医学电子仪器原理与设计、医疗器械标准化与不良反应监测、医用电子测量技术、电子技术等课程的教学工作。曾在美国加州大学圣地亚哥分校从事植入式葡萄糖传感器的应用研究,并在植入式葡萄糖传感器阵列结构和生物相容性研究方面取得一定成果。主持了国家自然科学基金、卫生部科研基金、辽宁省科研基金等资助项目10余项;发表科研论文近百篇;主持或参与自主研发酶-葡萄糖电极及血糖测量仪、无损深部温度计、经皮氧分压、电脑理疗仪等多种医疗器械,获得辽宁省医药卫生科技进步一等奖、辽宁省优秀教师、沈阳市五一劳动奖章等荣誉。

副主编简介



史学涛

1973年12月出生,教授,博士生导师,教育部生物医学工程专业本科生教学指导委员会委员,全军医学工程学专业委员会医疗设备创新研究分委员会委员,陕西省生物医学工程学会体外循环专业委员会常委。

长期承担生物医学工程专业本科生及研究生专业课程授课任务,作为副主编及参编国家规划教材各2部,获军队教学成果优秀奖励1项。同时长期从事生物电磁功能特性及成像新技术研究工作。先后承担或主持国家科技支撑计划课题、国家自然科学基金重点项目、军队重大项目在内的10余项课题的研究工作;获省科技进步奖一等奖、三等奖以及军队科技进步三等奖各1项;发表科研论文100余篇;作为第一或主要完成人获得国家发明专利30余项、医疗器械注册证2项、国际发明展览会金奖1项。



吴春生

1978年2月出生,研究员,博士生导师,西安交通大学医学部基础医学院医学工程研究所所长,入选陕西省百人计划青年项目和西安交通大学青年拔尖人才支持计划。2008—2009年美国加州大学洛杉矶分校联合培养博士生,2012—2015年获德意志学术交流中心博士后奖学金,在德国亚琛应用技术大学做博士后。

从事生物医学工程、生物物理学等交叉学科的教学与科研工作。作为副主编参与编写3部英文著作和教材,其中1部入选国家“十二五”高校统编教材;已发表论文50余篇,其中SCI收录30余篇;主持国家自然科学基金、省部自然科学基金、中国博士后科学基金等10余项科研项目;获多项国家发明专利授权;获得教育部自然科学二等奖、中国生物医学工程联合学术年会青年论文竞赛一等奖。



阮 萍

1964年7月出生,教授,硕士生导师,广东药科大学生物医学工程系主任,广东省生物医学工程专业教学指导委员会副主任委员,广东省特色专业“生物医学工程”专业负责人,广东省卓越人才计划——医疗器械卓越工程师项目负责人,“广东省医药3D打印机及个性化医疗工程技术研究中心”主任,广东省食品药品监督管理局医疗器械专家委员会委员,广州市食品药品监督管理局医疗器械专家委员会委员,广东省科学技术奖评审专家,广东省高等教育教学成果奖评审专家。

从事教学科研工作31年,主讲生物医学传感技术、医学影像设备原理、医学物理学、模拟电子线路、血液流变学等。主编、副主编教材10多部,主持参与国家、省级科研课题20多项,发表学术论文50多篇,获得国家专利多项。

前 言

21 世纪, 科学技术创新以如此快的速度发展, 渗透到了我们生活的各个方面。这一点在生物医学工程领域尤其突出。生物医学传感技术是生物医学工程领域的一个重要研究方向, 也是当前国际上发展最为迅速的生命科学与人工智能领域中智能感知的重要研究内容, 该技术有效地促进了传感技术在生物医学领域的基础研究、疾病的诊断和治疗等领域的广泛应用。

本书是按照国家卫健委与教育部生物医学工程专业教指委首套全面规划的生物医学工程教材的要求编写的。适用于生物医学工程专业本科生和本科为非生物医学工程专业的研究生, 以及对生物医学工程学科感兴趣的读者。教材注重把生物医学传感技术涉及的基本理论、方法原理以及目前发展较成熟的技术进行提炼、归纳、整合, 并对其在生物医学中的应用进行了详尽描述, 以便使读者能较系统、全面地了解和掌握相关知识。内容编排上由浅入深、循序渐进、文字简练、重点突出, 注重基础知识与实际应用的有机结合。

本教材共七章, 包括人体生理信息和传感技术的基础知识、物理量传感技术、化学量传感技术、生物量传感技术以及新型生物医学传感技术。每章附有思考题, 配套的数字资源附有同步练习题, 供读者练习选用。本教材的推荐学时数为 48~50 学时, 其中讲课 2.5 学时/周、0.5 学时实验课/周, 共计 3 学分。

本教材由国内从事生物医学传感技术研究并具有丰富教学经验的老师经多次讨论和分工编写而成, 由生物医学传感技术的老前辈, 天津大学的王明时教授和重庆大学的彭承琳教授担任主审。在此, 对参与本教材编写的教师以及参与教材编写和校对的研究生高凡、高克强、甘颖、梁韬、魏鑫伟、王敏、胡琼文、盛佳婧、张旭升、张钧煜等表示衷心的感谢。由于生物医学传感技术不断地发展, 新的理论方法和技术快速涌现, 再加之编著者学识水平及时间有限, 教材中难免存在一些歧义和不足, 敬请读者给予批评指正。

王 平 沙宪政

2018 年 9 月 4 日

全国高等学校生物医学工程专业首轮规划教材

目录

序号	书名	主审	主编	副主编
01	生物医学工程导论	郑筱祥 董秀珍	张建保 赵俊	周凌宏 李永杰
02	生物医学工程 基础医学概论		闫剑群 李云庆	董为人 郑敏
03	生物医学工程 临床医学概论		李宗芳	吉训明 范竹萍 邹建中
04	医学成像	陈武凡	万遂人 康雁	郑海荣 郭兴明 刘锐刚
05	医学图像处理	王广志	冯前进	李纯明 陈阳
06	医学仪器原理与应用		王智彪 李刚	廖洪恩 付峰 柴新禹 吴非
07	生物医学传感技术	彭承琳 王明时	王平 沙宪政	史学涛 吴春生 阮萍
08	生物医学光子学		骆清铭 张镇西	高峰 廖新华
09	生物医学信息学	李兰娟	李劲松	刘奇 张岩 蔡永铭
10	健康信息工程	俞梦孙 董秀珍	陆祖宏	王磊 洪文学
11	神经工程导论	顾晓松 高上凯	明东 尧德中	王珏 杨卓 侯文生 封洲燕
12	生物医学材料学 材料生物学	刘昌胜	尹光福 张胜民	吴江 陈忠敏 陈爱政
13	生物医学材料学 性能与制备		陈晓峰 翁杰	憨勇 郑裕东
14	生物医学材料学 生物学评价	奚廷斐	周长忍 赵长生	
15	生物力学		樊瑜波	刘志成 王贵学
16	临床工程学	黄治焯	吕毅 包家立	韩玥 乔清理 李斌
17	生物医学工程实验 电子工程方向		李刚	
18	生物医学工程实验 生物医学材料方向		尹光福 陈晓峰 周长忍	

第一章 绪论	1
第一节 生物医学传感技术的概念	1
一、生物医学传感器的定义	1
二、生物医学传感器的分类	1
三、生物医学传感技术的作用	2
第二节 生物医学传感技术的发展	3
一、国内外发展状况	3
二、应用领域	6
第三节 生物医学传感技术的作用	6
一、多学科交叉创新研究	7
二、生物相容性与医学可靠性	7
第四节 生物医学传感技术的发展趋势	8
一、仿生技术服务人体健康	8
二、生物医学前沿探索与智慧医疗	9
三、传感器检测技术的发展趋势	10
思考题	11
参考文献	11
第二章 人体生理信息与生物医学基础	12
第一节 人体的生理信息与分析	12
一、人体生理信息与诊断	12
二、细胞膜兴奋性	13
三、循环系统生理信息	15
四、呼吸系统生理信息	20
五、神经系统生理信息	22
六、消化系统生理信息	24
七、感觉器官生理信息	25
八、其他生理参数及其测量	28
第二节 细胞与分子生物学基础	29
一、细胞	29

二、基因	31
三、受体	33
四、离子通道	35
五、抗体	37
六、酶	40
思考题	44
参考文献	44
第三章 生物医学传感技术基础	45
第一节 传感器的基本性能指标	45
一、静态特性及其数学模型	45
二、静态特性的指标	46
三、动态特性及其数学模型	48
四、典型环节的动态特性	51
第二节 生物医学传感器检测技术	54
一、传感器检测系统的基本构成	54
二、调制解调技术	55
三、接口和数字信号处理	56
第三节 传感器检测系统性能改善的方法	56
一、改善传感器的性能	57
二、改善检测电路的抗干扰能力	57
第四节 传感器及检测系统的误差分析	60
一、测量误差和分类	60
二、检测数据分析处理	62
三、检测方法和检测系统分类	66
第五节 传感器的生物相容性设计	68
一、生物相容性的概念和原理	68
二、生物相容性的分类	70
三、生物相容性的评价	71
思考题	71
参考文献	71
第四章 物理量传感技术	72
第一节 电阻式传感器	72
一、电阻应变式传感器	72
二、压阻式传感器	76
三、电阻式传感器测量电路	77
四、电阻式传感器在生物学中的应用	81
第二节 电感式传感器	84
一、自感式传感器	84

二、互感式传感器	90
三、电涡流式传感器	92
四、电感式传感器测量电路	93
五、电感式传感器在生物医学中的应用	96
第三节 电容式传感器	97
一、电容式传感器工作原理	97
二、电容式传感器测量电路	101
三、电容式传感器在生物医学中的应用	103
第四节 压电式传感器	105
一、压电效应及压电材料	106
二、压电式传感器测量电路	111
三、压电式传感器在生物医学中的应用	114
第五节 磁电式传感器	120
一、常规的磁电感应式传感器	120
二、电磁流量计及其在医学中的应用	124
三、霍尔传感器	127
四、其他类型的磁敏传感器	132
第六节 光电式传感器	138
一、光电转换原理	138
二、光电式传感器的主要特性参数	139
三、光电敏感器件	140
四、光纤传感器	147
五、光电式传感器在生物医学中的应用	151
第七节 热电式传感器	153
一、热电阻敏感器件	153
二、热电偶传感器	155
三、集成温度传感器	157
四、辐射测温传感器	159
五、热电式传感器在生物医学中的应用	160
思考题	163
参考文献	163
第五章 化学量传感技术	165
第一节 概述	165
一、基本概念和原理	165
二、基本类型与特点	165
三、发展概况及趋势	166
第二节 电化学的基本原理	167
一、测量系统	167
二、基本概念	167