

Third, Enlarged Edition
Laser-Tissue Interactions
Fundamentals and Applications

激光与生物组织的 相互作用原理及应用

[德] M. H. 尼姆兹 著
张镇西 等 译 蒋大宗 校



科学出版社
www.sciencep.com

激光与生物组织的相互作用原理及应用

Laser-Tissue Interactions Fundamentals and Applications

Third, Enlarged Edition

[德]M.H. 尼姆兹 著
张镇西 等译 蒋大宗 校

科学出版社

北京

图字:01-2004-6067

内 容 简 介

本书系统地描述了激光与生物组织的相互作用原理及在相关领域的应用,详细论述了组织的光和热特性、组织蚀除的各种类型、光致破裂效应的基本概念以及使用的数学工具如 Monte Carlo 模拟、Kubelka-Munk 理论和光动力学疗法、激光诱导组织间质热疗法等。同时本书总结了激光在现代医学中应用于眼科、牙科、妇科、泌尿科、神经外科、心血管成形术及心脏病学、皮肤病学、矫形学、耳鼻喉及肺科领域中多种诊断和治疗方法,并在全书最后一章给出了激光安全的现代标准。

本书可供化学、物理、电子技术和生物医学等相关研究领域的学者、高年级本科生、研究生以及技术人员参考。

Translation from the english language edition: *Laser-Tissue Interactions* by Markolf H. Niemz.

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004. Springer is a part of Springer Science & Business Media. All Rights Reserved.

图书在版编目(CIP)数据

激光与生物组织的相互作用原理及应用/(德)尼姆兹(Niemz, M.H.)著;张镇西等译;蒋大宗校.—北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-014796-0

I. 激… II. ①尼…②张… III. 激光应用-医学 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 141696 号

责任编辑:王 静 彭克里 孙晓洁/责任校对:宋玲玲

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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

*

2005年8月第一版 开本: B5 (720×1000)

2005年8月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—2 500 字数: 355 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

FOREWORD FOR CHINESE VERSION

Prof. Dr. Zhenxi Zhang and his students from Xi'an Jiaotong University have translated the original edition of this book from English into Chinese. I'm very glad to hear that the newest edition (the third edition) has been translated into Chinese by them. It will be published by Chinese Science Press, 2005. I give the hearty thanks to them again.

Dr. Zhang has an excellent background in the field of medical laser applications. He has studied laser physics, biomedical engineering and instrumentation. He earned the Ph.D. degree in Biomedical Engineering and Instrumentation from the Xi'an Jiaotong University in 1990. His basic research focuses on studies of tissue optics, tissue diagnostics, laser diffraction spectroscopy, and the development of lasers and application systems. And now he is a professor, doctoral advisor and the vice dean of School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University.

At present, Dr. Zhang's group is in charge of some projects supported by the National Nature Science Foundation of China: The experimental study of 5-aminolevulinic acid based photodynamic therapy in leukemia cell HL60, High-resolution optical mapping of quantitative cardiac electrophysiology, etc. And some projects supported by the Nature Science Foundation of Shaanxi Province: Study on blood cell counting and classification by stationary suspending laser light scattering method, Bone regeneration material which is used for bone injury and disfigurement, etc. They have published many high-quality papers on technical journals. Refer to the additional list of the translator's papers in this book.

In addition, I wish to thank Prof. Dazong Jiang for revising the Chinese translation again, and writing an excellent preface. As far as I know, the original Chinese version (1st edition) received welcome by Chinese readers after published in China, and has been regarded as graduate student's teaching material by some universities. The third edition adds a lot of exercises and their corresponding solutions. I believe it is more appropriate for students. I hope that you will get more useful information and you will always enjoy reading the book.

Prof. Dr. Markolf H. Niemz
2005 - 03 - 08

中文版序

5年前，西安交通大学的张镇西教授及其课题组将本书英文原版翻译成中文。我很高兴获悉他们此次将本书的英文第三版翻译成中文，并由科学出版社于2005年出版。我对他们再次表示衷心地感谢。

张教授在医学激光应用领域具有良好的背景。他从事过激光物理学、生物医学工程与仪器的研究，并于1990年在西安交通大学获得生物医学工程与仪器专业博士学位。他的研究集中于组织光学、组织诊断学、激光衍射光谱学及激光器与应用系统的发展等方向上。现已是西安交通大学生命科学与技术学院副院长、生物医学工程及生物物理学教授、博士生导师。

目前，他的课题组承担了多项国家自然科学基金的研究项目，如“基于ALA脂类衍生物的光动力疗法对白血病细胞的影响”和“心脏电活动高分辨光学标测技术的研究”等。同时承担了省部级的研究项目“静止悬浮激光衍射法自动血细胞计数及分类仪器的研究”和“用于骨损伤和缺陷的骨再生材料”等。并在专业杂志上发表了多篇质量很高的论文，请参见本书的译者推荐的参考读物。

另外，我还非常感谢蒋大宗教授能够再次对中文翻译进行校阅，并撰写了优秀的序言。据我所知，中文版（第一版）在中国出版以后，很受中国读者的欢迎，许多中国的大学已经将其作为研究生教材。此次第三版增加了许多习题及答案，我相信它更适合作为学生的教材。我希望这本译著能够为你们提供更多有用的信息并希望你们喜欢这本书。

Markolf H. Niemz

2005年3月8日

蒋大宗序

近几年来，激光医学在我国已有广泛的应用，在诊断和治疗方面都有长足的发展。许多医院引进了不同品种的激光设备，并大量开展了各种激光手术，但尚存在着不少的问题，仍不可忽视。首先是国内的激光工程界和生产厂家，对激光引起的生物效应认识不足和研究不够；另一方面应用激光器的医务工作者，对激光的物理性能也并未深入了解，停留在按照文献上的介绍或按产品说明建议的规程来操作设备，进行治疗。这样的情况导致了不少误用激光的事故，也使得我国的激光医学跟随在国外进展后面，亦步亦趋地前进，甚至现在还在重复着过去的错误认识。

生物医学工程是一门跨学科的专业，它的工作者既要有物理学和工程学的基础知识，还要对生物学有一定认识，方能把新的技术如激光，成功地应用于医学中。近年已有不少生物医学工程工作者致力于激光的医学应用。他们普遍遇到的困难是不易找到既讨论了激光的物理性能又研究了它对生物组织效应的文献。这两方面的研究成果分别发表在物理工程刊物和生物、医学刊物上。许多生物医学工程工作者很难收集到这两方面足够的文献来指导他们的研究和设备的开发工作。

正如我在该书第一版的中译本序言中提到的那样，我非常喜欢《激光与生物组织的相互作用原理及应用》一书。本书作者 Markolf H. Niemz 教授长期从事激光医学领域的研究，取得了很高的成就。他作出很大的努力并撰写了这本激光医学专题著作。该书不仅概述了激光与生物组织相互作用的原理及激光在医学领域的应用状况，也提供了相应的基础理论，甚至包括了安全方面应该注意的若干问题。

该书是我从事生物医学工程近 20 年来，所见过的把工程和医学结合得最好的专著。在校阅的过程中，得以通过张教授和原作者探讨了一些问题，我个人也受益匪浅。

我愿再次向中国生物医学工程界推荐本书，希望原作者和译者的努力能对读者有所帮助，并希望以此推动生物医学工程界跨学科相互渗透的进展。

此书亦可作为从事激光医学的医务工作者的重要参考书。大略翻阅此书可以了解激光能造成的后果以及它能做什么？有哪些危害和怎样选择合适品种的激光

器？这样有利于在医务实践中少发生错误。

总之，本书得以出版是一件值得生物医学工程界庆贺的事。

蒋大宗

西安交通大学

2005年3月8日

译者序

本书原著是译者从事组织光学二十多年来所见的最好的一本专著。虽然世界上发表了许多与生命科学中的光学现象有关的科学论文，其中不乏激光与组织相互作用的论述，但像这样完整、系统的著作还从未有过。该书受到 *Laser und Optoelektronik* (29: 4, 1997)、*Lasers in Surgery and Medicine* (22: 73, 1998) 杂志的高度评价，此书的多次再版也是该书颇受欢迎的一个佐证。

Markolf H. Niemz 博士长期从事激光与生物组织相互作用的研究，曾于 1995 年获得德国 Heidelberg 科学院的 Karl-Freudenberg 奖。多年的理论与实践，使他具备了完成该书撰写的基础。该书既描述了激光与生物组织相互作用的基本途径，也提供了应用已知的知识对包括激光安全在内的临床激光应用的回顾。全书不仅概述了激光与生物组织相互作用的原理及激光在医学领域的应用状况，也提供了相应的基础理论，并在相关题材范围内作了概要的介绍，且对激光与生物组织的相互作用基础进行了系统讨论。全书知识内容不仅属于物理学和医学范畴，还涉及生物化学、生物学、电子学等领域，体现了交叉学科的研究特点。

自然界最奇特而变化多端的生命现象从起源、演化乃至今天人类有行为能力与潜质，都与“光”这个神秘的物质密不可分。光与生命早已结下不解之缘，随着激光与最新的光子技术的介入，生物医学光学进入了一个迅速发展的新阶段。与之相关的高新技术冲击着人类健康领域，正在改变着药物疗法和常规手术的实施手段，更为医疗诊断提供了新方法。在某些领域，如眼科，光学和激光技术已成熟地应用于临床实践。生命科学已成为 21 世纪的主导科学。作为生命科学的核心学科，生物医学光学也必然迎来新的发展。

本书的完稿得到了许多单位和朋友的支持与帮助。德国科学技术交流中心长期为我们提供书籍资料和其他相关信息。原书作者也为新的中文版写了序言。由于“为中国创建生物医学工程专业所作出的杰出贡献”而被授予美国 IEEE 会员最高荣誉称号“会士”、曾任国际生物医学工程联合会两届常务理事及中国生物医学工程学会前副理事长及代理理事长、国家医疗器械保健中心工程技术委员会主任委员、“西安交通大学杰出教授”蒋大宗先生在百忙中审校了译稿，确定了一些关键并易有歧义的英语术语的汉语译名，并为本书作序。福建师范大学物理与光电信息科技学院的院长、西安交通大学兼职教授谢树森教授多次提出指导意见，在此向他们表示衷心的感谢。同时感谢国家自然科学基金委员会信息科学部多年来对我们课题组的支持，以及傅便翔老师、何杰处长的帮助。另外，还要特

别感谢今通·安泰堂企业集团、中国保健科技学会健康产业促进会副会长曹新泰总裁的支持和资助，使得本书能顺利出版。

课题组的部分人员参加了本书的翻译工作，他们是姚翠萍、屈晓超、金妍妹、仝泽峰、冷玉珊以及梅建生等。

借此还要感谢生物医学光子学教育部网上合作研究中心西安交通大学分部的全体成员，他们的辛勤努力使得本课题组的研究方向不断扩展，研究水平也大幅度地提高。

此书是我从事翻译的第四本著作^{①②③}，希望本书的出版会对我国激光医学领域的发展有所帮助。由于能力所限，翻译中的不妥之处，恳请读者批评指正。

张镇西

西安交通大学

生命科学与技术学院

2005年5月25日

①Markolf H. Niernz 著. 张镇西等译 蒋大宗审校, 《激光与生物组织的相互作用——原理及应用》西安: 西安交通大学出版社. 1999年4月

②Florian Korff 著. 张镇西译, 《医学工作者的因特网》. 西安: 西安交通大学出版社. 2000年6月

③堀江一之, 牛木秀治, (加) F.M. 威尼克著. 张镇西等译 蒋大宗校, 《分子光子学——原理及应用》. 北京: 科学出版社. 2004年4月

原书第一版序

Markolf Niemz 博士克服了巨大的困难，撰写了激光在医学上所有实际应用状况的专题著作。在这部专著里，激光与生物组织相互作用的机制作为指南贯穿始终。作者的专业背景是物理、生物工程和生物医学光学。1995 年，因为他对激光与组织相互作用的基础研究，他获得德国海德堡 (Heidelberg) 科学院的 Karl-Freudenberg 奖。上述的经历极其适合写这本书。此书为激光与生物组织相互作用的基础研究提供了一个跨学科的方法，也对包括激光安全在内的激光临床应用做了回顾。

由于他对超短激光脉冲应用有一定的研究，因此能在光蚀除、等离子诱导蚀除和光致破裂方面进行深入的讨论。几个相关的效应也是由他首次提出的。而且，在这本书中广泛地论述了光动力学疗法、光热应用和激光诱导间质热疗法。因此，读者可全面了解这一学科的现状。

这本书的主要对象是这一领域的科学家和工程师，但医学工作者也能从中找到许多感兴趣的知识点。不用怀疑这本书将满足我们在激光医学领域工作中的需求，我希望它能够被大家接受。

医学中心研究院

激光中心主任

Martin J. C. van Gemert

1996 年于 Amsterdam

原书第三版前言

你喜欢拼字游戏吗？就让我们来试一试：

T									I			
I						A	C	T	I	O	N	S
L	A	S	E	R				I		T		
S					或者			S		E		
U						L	A	S		E	R	
E								U				
								E				

我喜欢摆弄单词和字母。大家可能知道激光 (laser) 是一个合成词，它从“受激辐射光放大” (light amplification by stimulated emission of radiation) 衍生而来。在开始介绍“激光与生物组织的相互作用”之前，我在这里先介绍一下它的来历，我将光称为“激光辐照发育且健康的组织” (lasers irradiate germinated and healthy tissues, LIGHT)。

为什么只有选择相应的参数，激光才能切除任何东西呢？健康组织是不受保护的，就像我们穿的衣服一样，没有哪一种激光能够适合所有尺寸的切除，因此激光绝对不是一种万能的工具。对激光参数的错误选择不仅不能起到治疗的目的，还很容易导致伤害。

欢迎大家阅读本书——《激光与生物组织的相互作用原理及应用》（第三版）。它的主要改进之处有，在第 2~5 章一共增加了 40 道阅读理解题及答案。有了这些习题，大家可以快速地测试自己所学到的知识，或者为相关的考试做准备。

与第二版相比，书中的一些文字及图片做了细微改动。对本书参考文献的更新，也为老师和同学们提供了更多的信息。

让世界充满光明，激光，或者：

“光：爱是上帝对我们的信赖” (LIGHT: love is God's hint to trust) ...

Markolf H. Niemz
2003 年 9 月于海德堡

原书第二版前言

本书的第一版是于六年前出版的。在这期间，激光医学的研究和应用有了飞速的发展。对以微创外科为基础的新技术的要求也越来越高，并且没有止境。所以，当第一版脱销时，出版社要我准备第二版，并补充所有新的发展。

书中有细微的改变和修正，大部分集中在第4章。理论部分集中在第2章、第3章，除了在3.2节的激光诱导间质热疗法（LITT）中，增加了多光纤治疗技术的讨论外，第2章、第3章的其他部分已经很完善，不需要过多的修改。第4章主要是应用部分——依赖于当前的技术形态。本书的第二版囊括了第一版中已述的所有应用，并增加了角膜屈光手术和龋齿的治疗。

在4.1节中，激光角膜原位磨镶术（laser in situ keratomileusis, LASIK）的引入使得角膜屈光手术的成功率显著提高。正如在4.2节中讨论的那样，脉宽在飞秒范围内的超短激光脉冲的应用使得龋齿切除的质量有了提高。另外，3.2节和4.10节分别加入了一些描述性的图形，参考文献中加入了最新文献资料的出处。

希望你喜欢第二版……

Markolf H. Niemz
2002年1月于海德堡

原书第一版前言

本书是应读者希望了解新近建立的激光与组织相互作用领域的需要而编写的。至今，可用于此目的的资料仅限于解决特定问题的出版物及由多位作者投稿的会议文集，读者很难从这些多作者的文献中获得对这个领域的详细了解。由一位作者所编写的书或许可以适用于这个目的，尽管该书不能为读者提供每一应用领域的所有细节。

本书的基本范围是我于 1992~1995 年在 Heidelberg 大学所做的几次有关生物光学的报告中拟出的。我尽可能把近 30 年中在激光与组织相互作用领域中所发表的显著研究收集在本书内。这包括对实验和技术的说明及其结果和理论背景。本书中的一些部分，尤其是对超短脉冲的详细讨论是受本人兴趣的影响。

激光医学应用的发展非常迅速，因此，这里不可能对所有出版物进行全面的概括。本书主要为初学者提供一个入门指南，也为内行提供了一个快速查阅的工具。若要探讨最新的技术和结果，读者查阅的应是最新的学术杂志而不是教科书。例如：《外科及内科中的激光》(*Lasers in Surgery and Medicine*)，《医学激光》(*Lasers in Medicine Science*)，《生物医学光学》(*Biomedical Optics*) 和《SPIE 生物医学科学》(*SPIE Proceedings on Biomedical Science*)。除此之外，一些相关的文章有时发表在其他的专刊上，如《应用物理学 B》(*Applied Physics B*) 和《IEEE 量子电子学》(*IEEE Journal of Quantum Electronics*) 等。

在这里我要感谢各位作者和出版社允许我在书中采用他们的图片。其中一些图片被重新绘制以提高可读性及获得统一的形式。我特别要感谢 1995 年 9 月在 Slovenia 的 Kranjska Gora 进行的德国国家研究基金会 (Studienstiftung des Deutschen Volkes) 生物医学光学研讨会的与会者。另外，我还要感谢 J. Bille 教授及他的学生们对手稿所提出的宝贵建议，感谢 T. Pioch 博士所提供的电子扫描显微镜照片，感谢编辑部和 Springer-Verlag 出版社全体工作人员在本书出版过程中所付出的努力和合作。最后，我还要感谢抽出宝贵时间来阅读手稿的朋友们。

尽管我尽了最大的努力，书中难免还会有些错误，希望读者向我提出宝贵的意见以便今后改进。

Markolf H. Niemz

1996 年 2 月于海德堡

目 录

FOREWORD FOR CHINESE VERSION

中文版序

蒋大宗序

译者序

原书第一版序

原书第三版前言

原书第二版前言

原书第一版前言

1 绪论	1
1.1 历史回顾.....	1
1.2 本书的主要目的.....	5
1.3 展望.....	7
2 光和物质	8
2.1 反射和折射.....	9
2.2 吸收.....	13
2.3 散射.....	17
2.4 混浊介质.....	22
2.5 光子传输理论.....	24
2.6 生物组织光学特性的测量.....	32
2.7 第二章习题.....	38
3 相互作用的机理	40
3.1 光化作用.....	42
3.1.1 光动力学疗法 (PDT)	44
3.1.2 生物刺激	51
3.1.3 光化作用的小结.....	52
3.2 热相互作用.....	53
3.2.1 热产生	60
3.2.2 热传输	61
3.2.3 热效应	68
3.2.4 激光诱导间质热疗法	72

3.2.5 热相互作用的小结	78
3.3 光蚀除作用	79
3.3.1 光蚀除的模型	85
3.3.2 紫外光辐射的细胞毒性	89
3.3.3 光蚀除的小结	91
3.4 等离子体诱导蚀除	92
3.4.1 等离子体诱导蚀除的模型	96
3.4.2 等离子体参数的分析	108
3.4.3 等离子体诱导蚀除的小结	112
3.5 光致破裂	112
3.5.1 等离子体的形成	117
3.5.2 冲击波的产生	120
3.5.3 空化	127
3.5.4 射流的形成	131
3.5.5 光致破裂的小结	132
3.6 第三章习题	133
4 激光的医学应用	134
4.1 激光在眼科中的应用	135
4.2 激光在牙科中的应用	160
4.3 激光在妇科中的应用	176
4.4 激光在泌尿科中的应用	182
4.5 激光在神经外科中的应用	187
4.6 激光在血管成形术及心脏病学中的应用	193
4.7 激光在皮肤病学中的应用	198
4.8 激光在矫形学中的应用	202
4.9 激光在胃肠病学中的应用	206
4.10 激光在耳鼻喉科及肺科中的应用	209
4.11 第四章习题	214
5 激光安全	216
5.1 简介	216
5.2 激光的危害性	216
5.3 对眼睛的危害	217
5.4 对皮肤的危害	219
5.5 高功率激光器的相关危害	219
5.6 激光的安全标准和危害分类	219

5.7 激光辐射的观察	224
5.8 眼睛的保护	224
5.9 激光的计算与测量	227
5.10 第五章习题	228
A 附录	230
A.1 医用钕激光器系统	230
A.2 物理常数和参量	234
B 答案	237
参考文献	239
英汉词汇索引	263
译者推荐的参考读物	280

1 绪 论

1.1 历史回顾

自从 Maiman (1960) 第一次报道激光辐射以来, 我们已经对激光的许多潜在应用领域进行了研究。其中激光医学外科是 20 世纪最重要的进步。如今, 各种各样的激光器已成为现代医学中不可替代的工具。临床应用最初仅局限于眼科, 现在却是最引人注目的应用。而且在激光医学外科中, 眼科技术已日趋成熟。目前激光手术普遍采用氩离子激光器光凝视网膜膜剥离。现在激光医学治疗的领域已经相当广泛。由于存在各种各样的激光系统和其多样化的物理参数, 尤其是几个研究组的积极工作, 最终使研究几乎涉及外科医学的每一个分支。尽管在某些情况下已造成了很多伤害 (特别是在生物刺激领域), 研究者们为了新的发明和取得成功而迷失了方向, 工业上所推崇的激光系统后来又被证明完全无效, 但这不应被理解为批评。总的来说许多有用的激光技术已经得到发展, 并且在各科科学家的帮助下建立了它的临床应用。这些治疗方法已被其他研究者再次证实, 并且可用各种被广泛接受的科学杂志中的文章来证明。早期激光应用的最初目的在于治疗, 近来又增加了几项有意义的诊断技术。本书将只介绍其中几种, 例如用荧光染料诊断肿瘤, 用激光诱导等离子体放电的光谱分析诊断龋齿等。但作者的主要目的不是讨论这些诊断应用, 感兴趣的读者可另外查阅详细的资料。

从历史发展的角度来观察, 激光器最早应用于眼科。这是因为眼睛和它的内部结构因其高度透光性而属于最容易接近的器官。仅仅是在前几年 Meyer-Schwickerath (1956) 才成功地研究了用氩闪光灯对视网膜组织进行光凝。1961 年, 激光器发明后仅一年, Zaret 等 (1961) 就公布了第一个试验研究。之后不久, 如 Campbell 等 (1963) 和 Zweng 等 (1964) 所报道的那样, 现在已经可以治疗视网膜剥离患者。与此同时, Goldman 等 (1964) 和 Stern 及 Sognnaes (1964) 首次在牙科领域进行了研究。在开始阶段, 激光的治疗局限于用红宝石激光器。以后, 就有了其他类型的激光器。因而相应的临床研究扩展到整个眼科和牙科的领域。

从 20 世纪 60 年代后期开始, 激光器也被引入其他医学学科。现在, 许多种类的激光方法被应用于世界各地。其中大多数属于**微创手术** (minimally invasive surgery, MIS), 这是近十年来用以描述非接触和流血量较少的外科手段的新术语。这两个特性促进了激光成为通用的外科手术刀及辅助治疗手段。如图 1.1 所