

氩离子激光 及其医学应用

孙朝晖 编著



氩离子激光 及其医学应用

孙朝晖 编 著

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

氙离子激光及其医学应用/孙朝晖编著. —北京:
人民卫生出版社, 2011. 12

ISBN 978-7-117-14859-7

I. ①氙… II. ①孙… III. ①氙—离子—激光
疗法 IV. ①R454. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 200736 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com	护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

氙离子激光及其医学应用

编 著: 孙朝晖

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: 010-67605754 010-65264830

010-59787586 010-59787592

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 710×1000 1/16 印张: 23

字 数: 432 千字

版 次: 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-14859-7/R · 14860

定 价: 40.00 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销售中心联系退换)

内容简介

本书参考大量文献资料,结合作者多年来利用氩离子激光所做的工作,编写了这本系统介绍有关氩离子激光的专著,希望能为氩离子激光工作者或爱好者提供一本基础性的参考读物。

全书共十四章,分别介绍了激光的产生、激光的生物学效应、激光的生物学作用机制、激光对人体的伤害及安全防护、氩离子激光器的结构原理、氩离子激光在眼科及其他科室中的应用等内容,以期读者对氩离子激光以及医学应用有一个系统的了解。

本书可供医学院校师生以及从事临床医学、激光医学及生物工程工作者参考。

从第一台激光器诞生到现在已经过去半个世纪,在这一时期内,激光因其与生俱来的强大生命力而得到飞速发展,且日臻完善,不论从理论上还是技术上,激光在各个领域中的应用都已经相当成熟,它已在工业、农业、军事、科技、医疗、通信、生活等各个方面显示出了巨大的能量。

氩离子激光作为众多激光种类的一员,在医学等领域发挥独有的作用,其在眼科、内科、外科等各学科的应用已凸显出它的优越性。在以前的著述中,介绍其他激光的同时,也兼零星介绍有关氩离子激光的内容,很不系统,目前专门介绍氩离子激光的专著却是凤毛麟角,很难查到相关完整资料。近 20 年来,笔者利用氩离子激光做过一些工作,取得了一些成绩,在工作中经常因查不到所需要的相关资料而苦恼,所以在日常工作的同时注意保存、汇集有关氩离子激光的实用资料,并结合自己的工作经历一并汇编成书,以期对对氩离子激光感兴趣的同仁提供一本资料,使他们通过翻阅本书即能对有关氩离子激光的从基础理论到医学应用等相关内容有一个大概了解。

氩离子激光技术在医学中的应用以在眼科中的应用最为成熟,它能在眼内通过屈光介质绝大部分传输至眼底的视网膜、脉络膜上,对眼底疾病及眼前部疾病进行有效治疗而对眼睛中间的屈光介质几乎没有损伤,这样可以对那些用传统方法必须进行开刀手术的眼底疾患进行无创伤的治疗,且有些疾病的治疗效果优于手术效果,使患者免于手术痛苦,很好地挽救患者的残存视力甚至宝贵的眼球。正是氩离子激光在眼科中有诸多良好的特性,为凸显其作用并有别于在其他学科中的应用,本书在第十二章中单独对氩离子激光在眼科中的应用作了阐述。

本书在介绍氩离子激光医学应用时,有一些内容没有成熟的临床应用报道,只有相关基础实验方面的研究成果,所以在书中以基础实验内容介绍给大家,以帮助读者对这方面的研究状况有一大概了解。

本书的许多内容在查不到有关氩离子激光直接资料的情况下,引用其他类型的激光加以解释,尽管氩离子激光与其他激光有差别,但还是有许多内容存在

相似性,可以相互借鉴。

氩离子激光的主要谱线为 488.0nm 和 514.5nm 两条谱线,这一波段的光正好被血液中的血红蛋白有选择地吸收,对血液的热效应就特别明显,所以氩离子激光具有很好的止血效果,尤其通过纤维内镜对内腔如消化系统、泌尿系统的各类出血就显示出了这一特点。由于氩离子激光波段处于普通石英光纤的最佳传输波段范围,在光纤中有良好的传输特性,所以氩离子激光通过光导纤维可以非常方便地传输到需要照射的任何地方,使氩离子激光的应用场合不受任何条件、位置的限制。

正是由于氩离子激光具有一些独特的特性或优点,使它在医学各领域得到了广泛的应用,它早已成为医务工作者手中得心应手的医疗工具。

本书的许多章节引用了一些前人对氩离子激光的基础性研究成果,从事临床工作的医务工作者可能对这些内容不太感兴趣,但笔者认为,只有在这些基础理论的指导下,才能对相关内容进行更深刻的认识和理解。所以参阅本书时,读者可根据自己的专业特长及喜好有选择地阅读有关内容,各取所需。

作为一本专门介绍氩离子激光的书籍,有些内容属作者一己之见,但更多的是在参阅了大量期刊、书籍的情况下汇编而成,书中引用了许多专家同行的观点、数据、图表等,所以说本书是许多人辛勤工作的结晶。

本书在编写及校对过程中得到了南京三乐电气总公司原激光研究所郑春高级工程师的大力支持,在此深表感谢。

由于作者业务水平及掌握的资料有限,难免出现一些错误或遗漏,敬请读者不吝赐教。

孙朝晖

2010 年 7 月 于烟台

目 录

第一章 激光的产生	1
第一节 原子结构与能级	2
一、原子的结构	2
二、原子的能级	3
第二节 吸收与发射	5
第三节 粒子数反转分布与光放大	8
第四节 激光的产生	9
第五节 光学谐振腔	12
第二章 激光的物理特性及模式	15
第一节 激光的基本物理特性	15
一、亮度极高	15
二、方向性好	16
三、单色性好	16
四、良好的相干性	17
五、偏振性好	18
第二节 激光的模式	19
第三章 生物组织的光学特性	22
第一节 皮肤及皮下组织的光学特性	22
第二节 眼的光学特性	27
第三节 血液、肌肉、内脏、肿瘤等组织的光学特性	28
第四章 激光的生物学效应	31
第一节 基本理论	32
第二节 热效应	34

一、热效应	34
二、激光辐照热效应的基础研究	36
三、热效应机制	41
四、生物组织的热学性质	42
五、热作用对生物组织的影响	44
第三节 光化学作用	46
第四节 压强作用	49
一、辐射压强	49
二、热膨胀压强	51
三、内部气化压强	52
四、电致伸缩压强	53
第五节 电磁场作用	54
第五章 激光的生物学作用机制	57
第一节 强激光的作用机制	57
一、强激光的生物学作用	57
二、强激光的临床应用方式	59
第二节 弱激光的作用机制	60
一、激光共振效应调整生物场能平衡假说	61
二、光色素系统吸收激光能量调节生命过程假说	62
三、细胞膜受体作用导致细胞的光照活化效应假说	62
四、类脂极化分子受线偏振光的定向电场力作用改变细胞膜 类脂双分子层构象的假说	63
五、感受器接受刺激,反应器调整生理功能假说	63
六、其他探讨	64
第三节 弱激光治病的规律	64
一、激光剂量	64
二、激光波长	65
三、激光的相干性	65
四、激光的偏振性	66
五、弱激光治疗方法	66
第四节 激光对生物大分子的作用	66
一、氨基酸	66
二、蛋白质	67
三、核酸	67

四、病毒	68
第五节 激光对细胞和细胞器的作用	68
一、激光细胞效应	68
二、激光细胞器效应	73
三、激光对细胞功能的影响	77
第六节 激光对组织和器官的作用	79
一、激光对眼的效应	80
二、激光对眼睛作用的基础研究	82
三、激光对皮肤的作用	84
四、激光对肝组织的作用	87
五、激光对神经组织的作用	89
六、激光对肾、脾、心脏的作用	90
 第六章 激光参数对生物作用的影响	92
第一节 波长因素的影响	92
一、光的颜色、波长、频率、光量子能量的相互关系	92
二、波长因素对激光生物效应的影响	93
第二节 剂量因素的影响	94
一、激光剂量的定义	94
二、影响剂量的因素	94
三、物理剂量与生物剂量	95
四、剂量因素对生物作用的影响	96
第三节 工作方式、模式、相干和偏振的影响	97
 第七章 激光对人体的伤害及治疗	99
第一节 激光对眼睛的伤害	101
一、不同波长激光对眼睛伤害的关系	103
二、入射激光强度与眼睛损伤的关系	105
三、瞳孔大小与伤害的关系	107
四、视像光斑大小与激光对视网膜伤害的关系	107
五、激光束的入射角度与眼伤害的关系	109
六、眼睛距激光器的距离与眼睛伤害的关系	109
七、眼底色素含量与激光造成伤害的关系	110
八、Ar ⁺ 激光和 Nd:YAG 倍频激光对眼睛的伤害情况	110
九、激光对眼睛的慢性伤害	111

十、激光伤害眼睛的阈值	112
十一、激光照射后视觉功能的变化	113
十二、激光照射后眼组织某些生化指标的变化	114
第二节 激光对皮肤的伤害	115
一、激光皮肤损伤阈值	116
二、激光伤害皮肤与激光能量的关系	117
三、激光伤害皮肤与激光波长的关系	117
四、激光伤害皮肤与肤色的关系	118
五、激光损伤皮肤的分类	118
第三节 激光对人体的其他伤害	119
一、激光对中枢神经的损伤	119
二、激光对内脏的伤害	119
三、激光诱发癌变的考虑	119
四、激光照射的全身效应	119
第四节 反射激光对人体的危害	120
一、镜反射激光的危害	120
二、漫反射激光的危害	120
第五节 激光器产生的危害	120
一、电的危害	120
二、激光器对周围环境的污染	122
三、毒性物质的危害	122
四、其他一些危害	122
第六节 激光伤害的治疗	123
一、激光伤害眼底的治疗	123
二、激光引起白内障的检查与治疗	127
三、激光损伤角膜的治疗	128
四、激光损伤皮肤的治疗	128
 第八章 激光的安全与防护	 130
第一节 激光安全水平	130
第二节 激光器的危害评价和分级	131
第三节 激光器的安全管理	133
一、激光器的分级管理措施	133
二、对非可见激光器的管理措施	137
三、建立健全激光安全管理机构及职责	137

第四节 激光器防护措施	138
一、激光器本身的安全装置	139
二、激光器运转环境的防护问题	140
三、个人防护措施	140
四、医学监督	140
第五节 眼睛、皮肤的防护措施	141
一、眼睛的防护	142
附:激光工作人员的眼科检查	148
二、皮肤的防护	149
第六节 对激光其他问题的安全防护	149
一、防止高强度激光束照射除眼睛以外的身体其他部位	149
二、避免无益反射的伤害	149
三、反射光控制	150
四、防止激光污染环境	150
五、激光实验场所的高压危险	150
六、爆炸、火灾、噪声等危害的控制	151
附:激光安全防护有关术语	151
 第九章 氩离子激光器	154
第一节 氩离子激光器结构简介	154
第二节 氩离子的能级	157
一、基态 Ar^+ 的光谱项	158
二、与 Ar^+ 受激辐射有关的上能级和下能级的光谱项	158
第三节 氩离子激光的激发过程	161
一、上能级激发过程	161
二、下能级激励过程	164
三、 Ar^+ 激光器的激励特点	164
第四节 影响激光器性能的因素	165
一、激光功率的影响因素	165
二、影响输出功率稳定度的主要因素	173
三、激光束模式的影响因素	175
四、输出谱线的影响因素	175
五、光斑尺寸和光束发散角的影响因素	176
六、激光器使用寿命的影响因素	176
第五节 氩离子激光眼科治疗机	177

一、氩离子激光眼科治疗机的结构	177
二、主要技术指标	180
三、氩离子激光眼科治疗机的性能	180
第六节 氩离子激光内窥镜光凝治疗机	181
一、仪器特点及用途	181
二、结构	181
三、主要技术参数	184
第七节 氩离子激光泵浦的连续染料激光诊疗机	185
一、原理简介	185
二、设计要求	186
三、结构	187
四、具有多光束输出的 Ar^+ 激光泵浦的染料激光诊疗机	188
五、主要技术指标	188
六、临床应用注意事项	189
第十章 激光能量与功率的测量	190
第一节 测量的重要性	190
第二节 激光临床治疗中的基本参数	191
第三节 激光能量的测量	193
一、光热法测激光能量	193
二、光电法测激光能量	197
三、热释电法测激光功率	200
第四节 峰值功率的测定	202
一、峰值功率直接测量法	202
二、峰值功率间接测量法	203
第五节 测量要点	203
第十一章 导光系统	206
第一节 导光光学纤维	206
一、光纤的一般结构	207
二、阶跃光纤	208
三、梯度光纤	212
四、传输损耗	213
五、光纤的耦合	214
六、光纤光缆	215

第二节 导光关节臂	215
第十二章 激光在眼科的应用	218
第一节 氩离子激光在眼睛中的特性及对眼组织的效应	219
一、氩离子激光在眼睛中的特性	219
二、氩离子激光对视网膜脉络膜组织的效应	219
第二节 氩离子激光的眼底光凝分级	224
第三节 与激光光凝有关的名词解释	225
第四节 激光治疗眼睛前部疾病	226
一、激光虹膜切除术	227
二、激光小梁成形术	230
三、激光巩膜切除术	233
四、激光凝固睫状突	234
第五节 激光治疗眼底疾病	235
一、视网膜裂孔	235
二、视网膜劈裂症	239
三、糖尿病性视网膜病变	242
四、增殖型视网膜病变的治疗方法及其作用机制	248
五、中心性浆液性视网膜脉络膜病变	250
六、视网膜血管瘤	253
七、脉络膜血管瘤	256
八、脉络膜恶性黑色素瘤	258
九、外层渗出性视网膜病	260
十、视网膜静脉周围炎	262
第六节 激光治疗眼睛外部疾病	265
一、翼状胬肉	265
二、角膜新生血管	265
三、单纯疱疹性角膜炎	266
第十三章 Ar⁺激光在其他学科中的应用	267
第一节 在皮肤科的应用	267
一、激光对皮肤组织的作用	267
二、鲜红斑痣	268
三、色素性毛表皮痣	272
四、单纯性血管瘤	272

五、蜘蛛痣	273
六、化脓性肉芽肿	273
第二节 在心血管方面的实验研究	273
一、激光对动脉粥样硬化斑块的作用	274
二、激光对血栓的作用	276
三、激光用于血管再通的实验	277
四、激光对心脏组织的作用	278
五、先天性心脏病的激光实验	279
六、激光心肌成形术	280
七、激光用于消蚀病态心内膜	282
八、血管融熔吻合术	283
九、心脏粘连性病变的激光分离	284
十、危险与并发症	284
第三节 激光内镜的临床应用	285
一、激光用于上消化道止血的实验研究	285
二、治疗上消化道出血	287
三、痔的治疗	290
四、加德纳综合征的治疗	290
五、上消化道肿瘤的治疗	290
六、肛肠肿瘤的治疗	291
七、激光内镜诊断	291
第四节 在男性节育方面的应用	293
一、动物实验	293
二、临床应用	297
第五节 光动力疗法治疗口腔颌面部恶性肿瘤及口腔颌面部 肿瘤的自发荧光现象	299
一、光动力疗法	299
二、口腔颌面肿瘤的自发荧光现象	301
三、治疗黏液腺囊肿与舌下腺囊肿	303
四、治疗口周黑子病	304
五、龋齿诊断	304
第六节 神经系统疾病	304
一、治疗脑动静脉畸形	304
二、颅内肿瘤气化	305
三、脊髓损伤理疗	305

第七节 在耳鼻喉科中的应用	305
一、激光用于镫骨切除术	306
二、激光用于鼓膜修补术	307
三、血管舒缩性鼻炎	307
四、咽喉鼻腔血管瘤	307
第八节 在泌尿系统的应用	308
一、尿道狭窄	308
二、膀胱内肿瘤	308
三、尿道肉阜	310
第九节 氩离子激光在其他方面的应用	310
一、肺癌	310
二、骨肿瘤	310
三、颞下颌关节功能紊乱	311
第十四章 激光全息检测技术	312
第一节 全息照相的基本理论	312
一、菲涅耳全息图和夫琅和费全息图	314
二、漫射照明法的全息图	314
第二节 全息照相的操作方法	315
一、原理	315
二、拍摄	317
三、再现	317
四、激光全息照相的特点	318
第三节 激光全息照相术在医学中的应用	319
全息照相术在眼科中的应用	321
第四节 全息干涉计量术及其在医学中的应用	326
第五节 记录材料	330
一、分辨率	330
二、色灵敏度	331
三、感光速度	331
四、系统的防震性	331
参考文献	332

激光的产生

激光本身因有其许多与普通光源不同的特性,所以激光技术的应用范围被推广到了工农业生产、军事、生活、医疗、科研等各个领域。例如,它的亮度极高,比太阳表面的亮度还要高 10^{10} 倍;方向性极好,几乎是一束平行的光束;颜色也极为单纯,比之前最好的单色光源——氪灯还要纯上万倍。激光能在千分之几秒甚至更短时间内使一些难熔的物质熔解以至于气化,可以在百分之几毫米的范围内产生几百万度的高温、几百万个大气压、每厘米几千万伏特的强电场。正是由于这些特点,它早已被广泛地用于生产和科学实验。

在工业生产上,激光已被用来加工微孔,切割和焊接各种难熔的材料和工件。激光还可用作长度标准和精密测量,它能以高于 $1\mu\text{m}$ 的精度测量大于 1m 长的工件。在一般的工程施工中,利用激光的方向性可以进行精确的导向。在军事技术上,激光雷达和激光测距可以精确地测量目标的方位、距离和速度,对卫星、导弹等目标进行精密跟踪,甚至能清楚地显示目标的形状。利用激光对炸弹进行制导,可大大提高命中率。理论上,激光可同时传送 1000 万套电视节目或 100 亿路电话,这是目前一般通信设备所望尘莫及的。利用激光的相干特性进行全息照相,这种技术能获得真正的立体影像。在科学实验中,用激光可以进行等离子体诊断,用它实现受控热核反应。在农业上,激光辐射育种和大面积植株照射增产的试验也早已获得成功。激光在医学中的应用也极其广泛,从激光在医学上的初次尝试——视网膜焊接开始,继而扩大至内科、外科、消化科、皮肤科、妇科、耳鼻喉科、牙科、肿瘤以及公共卫生、生物细胞等学科。现在的互联网、计算机、DVD、VCD、电视传输、电话通信、科学研究等领域中,都不难发现激光的踪迹。

总之,激光的应用已遍及我们生活的各个方面,目前还在向深度和广度发展。激光为什么会有如此强大的功能,为什么会有如此奇异的特性,这主要是由

激光光源本身特性所决定的。

不论是普通光源发光,还是激光,都是物质发光,是原子或分子的发光,发光现象都与发光物质的内部原子结构及其运动状态有关。但是,普通光源和激光在产生原理上却有本质的差别,前者称自发辐射,而后者称受激辐射。

激光(laser,即由 light amplification by stimulated emission of radiation 的首字母编写而成)是一种新颖光源,是通过受激辐射而产生的单色性好、相干性好、能量高度集中的一种光源。产生这种光的装置称为受激辐射式光放大器,或称作光激励器,简称激光器。

为了了解发光现象和激光的产生原理,本章首先对原子结构及其能级作基本介绍,然后从原子受激吸收过程和受激发射过程以及粒子数反转分布和光放大的理论阐明发光现象和激光产生的原理。

第一节 原子结构与能级

一、原子的结构

所有物质都是由分子组成,分子又是由更小的原子组成。19 世纪末到 20 世纪初期,随着人们对物质认识的深化,便形成了完整的原子结构理论。原子并不是物质结构的最小单元,它是由一个质量较大的原子核和围绕原子核旋转的一个或若干个电子组成。原子核带正电荷,电子带负电荷。一个电子具有的电荷量称为一个基本电荷电量,用 e 表示,其值 $e = -1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ (库仑)。在正常情况下原子核带的正电荷量与围绕其旋转的所有电子带的负电荷量之和在数值上是相等的,因而原子系统对外界观察者来说呈现电中性。

不同元素的原子包含着不同数目的电子。结构最简单的是氢(H_2)原子,它的核外只有 1 个电子,其他原子都有多于 1 个数目的电子,如氦(He)原子的核外有 2 个电子,氩(Ar)原子的核外有 18 个电子等等。

众所周知,一个原子如同一个“小太阳系”,许多电子围绕着原子核不停地高速旋转,电子在绕核旋转的同时,也不停地自转,像地球在绕太阳旋转的同时还自转一样。电子在原子中的分布并不是任意的,而是按照一定的特定规律分布,即“量子化”分布。为了研究方便,人们通常用 n 、 l 、 m 和 m_s 四个量子数来描述电子的运动状态及其在核外的分布情况。 n 是主量子数,它决定着电子的能量。 l 是角量子数,它决定着电子的角动量。 m 是磁量子数,它决定着自旋角动量在磁场方向上的分量。 m_s 是自旋量子数,它决定着电子的旋转方向。电子在原子中的分布如图 1-1 所示,它是以壳层状的形式一层一层地分布在原子核外。最靠近原子核的一层叫 K 层,然后依次叫 L、M、N…层,它们分别对应于主量子数是