



LASER TREATMENT
IN AESTHETIC SURGERY

激光整形美容外科学

主编 李 勤
吴溯帆

整形美容外科学全书 **Vol. 6**

浙江出版联合集团 浙江科学技术出版社

阅 览



整形美容外科学全书 Vol. 6

激光整形美容外科学

主编 李 勤 吴溯帆



浙江出版联合集团 浙江科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

激光整形美容外科学 / 李勤, 吴溯帆主编. —杭州:
浙江科学技术出版社, 2012. 11
(整形美容外科学全书)
ISBN 978-7-5341-5302-0

I. ①激… II. ①李… ②吴… III. ①激光手术—
整形外科学②激光手术—应用—美容术 IV. ①R622

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 311687 号

丛 书 名 整形美容外科学全书
书 名 激光整形美容外科学
主 编 李 勤 吴溯帆

出版发行 浙江科学技术出版社
杭州市体育场路 347 号 邮政编码:310006
联系电话:0571-85058048
集团网址:浙江出版联合集团 <http://www.zjcb.com>

图文制作 杭州兴邦电子印务有限公司
印 刷 浙江新华数码印务有限公司
经 销 全国各地新华书店

开 本 890×1240 1/16 印 张 35.75
字 数 938 000
版 次 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5341-5302-0 定 价 390.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现倒装、缺页等印装质量问题,本社负责调换)

责任编辑 王 群 王巧玲
责任校对 赵 艳

封面设计 孙 菁
责任印务 徐忠雷



左起：艾玉峰、高景恒、王伟、张志愿、吴溯帆

《整形美容外科学全书》总主编简介

王伟(Wang Wei), 1937年生。上海交通大学医学院附属第九人民医院整形外科终身教授, *Plastic and Reconstructive Surgery* 国际编委。在皮瓣移植, 血管吻合, 拇指、食管再造, 晚期面瘫, 手畸形, 腹壁整形, 巨乳缩小, 面部轮廓整形, 年轻化, 眼袋整形等方面有多项发明创新。发表论文 300 余篇, 主编、参编图书 70 余部; 获国家发明奖等 20 余次。

张志愿(Zhang Zhiyuan), 1951年生。上海交通大学医学院附属第九人民医院教授、博士生导师, 教育部国家级重点学科——口腔颌面外科学科带头人, 中国抗癌协会头颈肿瘤专业委员会主任委员。以第一或通信作者发表学术论文 156 篇, 主编专著 9 部; 以第一负责人承担部委级课题 18 项, 以第一完成人获国家科技进步二等奖 2 项。

高景恒(Gao Jingheng), 1935年生。1985年破格晋升正高级职称, *Plastic and Reconstructive Surgery* 国际编委。主编专著 5 部, 主审 10 余部, 创刊杂志 2 本, 现仍担任卫生部主管的《中国美容整形外科杂志》主编; 在显微外科及修复重建外科临床研究中获得省部级科技进步奖 3 项。

艾玉峰(Ai Yufeng), 1948年生。原西安第四军医大学西京医院整形外科主任医师、教授、硕士生导师、主任。现任四川华美紫馨医学美容医院院长、学科带头人。发表论文 100 余篇, 主编、参编专著 30 余部。

吴溯帆(Wu Sufan), 1964年生。1985年浙江大学本科毕业, 2003年日本京都大学博士毕业, 一直工作于浙江省人民医院整形外科。发表学术论文 60 余篇, 其中 SCI 收录的英文论文 11 篇, 主编、参编图书 10 部。

《激光整形美容外科学》主编简介



李勤(Li Qin)

广州军区广州总医院整形外科主任兼全军激光整形中心主任,主任医师,教授,医学博士,博士生导师。现任中华医学会医学美学与美容学分会委员、中国康复医学会修复重建外科专业委员会委员、中国整形美容协会微创与皮肤整形美容分会副会长、中国医师协会美容与整形医师分会常务委员兼激光专业委员会副主任委员、全军整形外科专业委员会副主任委员、广东省医学会整形外科学分会副主任委员、《中国美容整形外科杂志》常务编委等学术职务。从事整形美容外科 20 余年,积极开展激光技术在整形美容外科的应用,注重将激光医学与整形外科技术相结合,进行体表血管瘤与血管畸形治疗及面部年轻化综合治疗。近 3 年获军队医疗成果二等奖 1 项、广东省科技进步一等奖 1 项、省部级科研项目 3 项。主编专著 3 部。



吴溯帆(Wu Sufan)

浙江省人民医院整形外科主任,主任医师,教授,医学博士,硕士生导师。现任中华医学会整形外科学分会委员、中华医学会激光医学分会常务委员、中华医学会医学美学与美容学分会委员、中国医师协会美容与整形医师分会常务委员、中国康复医学会修复重建外科专业委员会委员、浙江省医学会整形外科学分会主任委员、浙江省康复医学会修复重建专业委员会主任委员、国际美容整形外科学协会(ISAPS)会员等学术职务。自 1985 年参与激光医学相关工作以来,对激光在整形美容方面的应用有一定的研究。临床开展各种整形修复手术、整形美容手术和注射美容技术、激光整形美容技术等,同时还主持多个科研项目。发表学术论文 60 余篇,其中 SCI 收录 11 篇,主编、参编图书 10 部。

《激光整形美容外科学》编委会

主 编 李 勤 广州军区广州总医院

吴溯帆 浙江省人民医院

副主编 余文林 广州军区广州总医院

石杭燕 浙江省人民医院

编写人员 (按姓氏笔画排序)

Albert Goldman 巴西阿雷格里港 Goldman 诊所

马 刚 上海交通大学医学院附属第九人民医院

王玮蓁 武汉市第一医院

石杭燕 浙江省人民医院

刘志飞 北京协和医院

齐向东 广州军区广州总医院

阴慧娟 中国医学科学院生物医学工程研究所

孙 毅 浙江省人民医院

李 勤 广州军区广州总医院

李文志 北京安贞医院

李迎新 中国医学科学院生物医学工程研究所

肖 强 广州军区广州总医院

吴东辉 湖南省人民医院

吴溯帆 浙江省人民医院

吴燕虹 广州军区广州总医院

余文林 广州军区广州总医院

宋卫民 杭州市第三人民医院

张 斌 广州军区广州总医院

陈 葵 广州军区广州总医院

苑凯华 广州军区广州总医院

林晓曦 上海交通大学医学院附属第九人民医院

周国瑜 上海交通大学医学院附属第九人民医院

周展超 中国医学科学院皮肤病研究所

赵小忠 空军总医院
翁伟丽 中山大学孙逸仙纪念医院
唐建兵 广州军区广州总医院
曹 梁 广州军区广州总医院
崔欲晓 中国医学科学院生物医学工程研究所
彭丽霞 广州军区广州总医院
葛西健一郎 日本大阪市葛西激光整形美容诊所
程 飏 广州军区广州总医院
曾 东 广州军区广州总医院
谭 军 湖南省人民医院
熊 杰 广州军区广州总医院

总序

《整形美容外科学全书》

现代中国整形外科,若以 1896 年发表在《中华医学杂志》(英文版)上的一篇整形外科论文算起,至今已有 117 年的历史。在半殖民地半封建社会的旧中国,整形外科的发展受到较大限制。1949 年新中国成立以后,整形外科有了新的发展,尤其是改革开放后,整形外科获得了真正大发展的机遇。1977 年,在上海召开的“医用硅橡胶在整形外科的应用交流会”期间,笔者统计了全国全职和兼职的整形外科医师为 166 人,床位 732 张,几乎是近 600 万人口中,才有 1 名专职的整形外科医师。2011 年有人统计,全国有 3000 多个整形外科医院、专科、诊所,有 2 万多名专业医师。30 多年来,整形美容医疗的就诊人数、从医人员迅速增加,中国或许是整形美容医疗发展最快的国家之一。

整形外科的快速发展带来的问题是学科发展的不均衡。在重点医学院校的整形美容外科专业队伍中,其临床实践能力和创新研究成果,与亚洲国家以至于欧美国家相比,都具有较强的竞争力,特别在显微再造外科方面,处于世界领先水平。但在新建立的许多专科、诊所中,具有较高学术水平的专业人员相对较少;受过系统和正规训练,受益于国内外学术交流并在实践中积累了丰富经验的高素质医师的数量,远远不能满足学科发展的需求。面对这样的实际情况,出版整形美容外科高水平的学术专著,是学科发展刻不容缓的任务。

1999 年出版的两册《整形外科学》,已成为学界临床实践、研究、晋升、研究生考试的主要参考书。新加坡邱武才教授曾介绍:“《整形外科学》是包括日本、印度、澳大利亚、新西兰在内的最好的教科书,是东方整形外科的旗舰……”他还在美国《整形再造外科杂志》上撰文推荐。近年来,随着整形美容外科不断发展,需要有更新、更专业、涵盖学科近代发展和创新性研究成果的学术专著问世。笔者 2006 年策划,2009 年 12 月向全国同行发起编撰《整形美容外科学全书》(以下简称《全书》)的倡议,迅速得到了国内外百余位教授、学者的积极响应。2010 年 9 月由成都华美美容医院协助承办了《全书》的编写会议,有百余位主编、教授、医师、出版社编辑和媒体工作者参加,会议成为编撰《全书》的动员大会,以及明确编撰要求、拟定编撰大纲的学术研讨会。如今,《全书》第一辑 10 分册即将出版,第二辑 12 分册拟在 2014 年出版。这项编撰整形外科学术专著的巨大工程终于开始结出了硕果。

2012 年 3 月《全书》第一辑被列为“2012 年度国家出版基金资助项目”,这是整形外科学历史上的第一次,让所有参编人员在完成巨著的“长征”中增添了力量。编撰者们希望她的出版,可为中国以及世界整形美容学界增添光彩,并为我国整形美容外科的发展提供一套现代的、科学的、全面的、实用的和经典的教科书式的学术专著。这对年青一代的迅速成长,以及中国整形美容外科全面向世界高水平的发展都会起到重要作用。正如我们在筹划编撰这套书时所讲“是为下一代备点粮草”。

《全书》的编撰者,有来自大陆各地的整形美容外科教授、主任医师、博士生导师、长江学者、国家首席科学家,还有来自中国台湾,以及美国、加拿大、韩国、日本、巴西等国家的学者、教授;既有老一辈专家,又有一批实践在一线且造诣深厚的中青年学者、学科带头人。笔者参加了大部分分册的编撰和编审过程,深深感受到编撰者们为《全书》所作出的奉献。综观《全书》的编撰过程,是一次学术界同行集中学

习、总结和提高自己的过程。在这一过程中,可以让中国的学者们站到本学科的前沿来审视整形美容外科的过去、现在,展望中国以及世界整形美容外科的未来。编撰者们深有体会:这是一次再学习的好机会,也是我国整形美容外科历史上一次有价值的集体编撰的尝试。

三

在当今世界整形美容外科学界的优秀学术专著中,美国 Mathes S. J.(2006)主编的《整形外科学》(8分册)被认为是内容最经典和最全面的教科书式的学术专著,但它在中国发行量极少,并且其中有不少章节叙述较简洁,或有些临床需要的内容没有阐明,因此,编撰出版我们自己的《全书》尤为迫切。

在《全书》22个分册中值得一提的是《眶颧整形外科学》和《面部轮廓整形美容外科学》分册,这是我国学者在整形外科中前瞻性研究和实践的成果。笔者1994年在上海召开的“全国第二届整形外科学术交流会”闭幕词中,号召开展“眶颧外科”和“面部轮廓外科”的研究和实践。在笔者1995年开始主持的“上海市重点学科建设”项目中,以及在全国同行的实践中,研究和推广了“颧弓和下颌角改形的面部轮廓美容整形”,“下颌骨延长和面部中1/3骨延长”,“眶腔扩大、缩小、移位和再造研究与实践”,加上在眶部先天性和外伤后畸形修复再造中,应用再生医学成果和数字化技术,近20年来全国同行的数以万计的临床实践和总结,才有了《眶颧整形外科学》、《面部轮廓整形美容外科学》分册的面世。

《全书》中将《血管瘤和脉管畸形》列为分册。在世界整形外科学术专著中,对此多数叙述不详。其实,血管瘤、脉管畸形是常见疾病,不但损害患儿(者)的外形、功能,而且常常有致命性伤害。血管瘤和脉管畸形相关临床和基础研究,是近十多年来我国发展迅速的学科分支。对数十万计患儿(者)的治疗和研究积累,使得本分册的编撰者多次被邀请到美洲、欧洲和亚洲其他国家做主题演讲。世界著名的法国教授 Marchac 说:“今后我们有这样的病人,都转到你们中国去。”大量的实践和相关研究为本分册的高水平编撰打下了基础。

《肿瘤整形外科学》是一部填补空白的作品。它系统地介绍了肿瘤整形外科的基本概念、基本理论和临床实践,对肿瘤整形外科的命名、性质、范围、治疗原则和实践,以及组织工程技术在肿瘤整形外科的应用等做了详细论述。

《微创美容外科学》具体介绍了微创美容技术、软组织充填、细胞和干细胞抗衰老的应用和研究。

《全书》几乎涵盖了现今世界整形美容临床应用的各个方面,不仅有现代世界整形美容先进的基础知识和临床实践的论述,还有激光整形美容、再生医学、数字化技术、医用生物材料等医疗手段的应用指导,以及整形美容外科临床规范化、标准化研究和实践的最新成果。编撰者们力图为我国整形美容外科临床实践、研究、教育的发展建立航标。

从1996年《整形外科学》编撰起,到2014年《全书》全部出版,将历时19年,近百个单位、几百位学者参与。编撰者参阅了中外文献几十万或百万篇,从数十万到数百万计的临床案例和经验总结中提炼出千余万字。中国现代整形外科发展的经验告诉我们,学习和创新是发展的第一要素,创新来自学习、实践和对结论的肯定与否定,经过认识→实践→肯定→否定→新认识→再实践→总结,不断循环前进。“在学科前进的路途中,我们要清晰地认识自己,认识世界,要不断奋斗,不断创新,要有自己的话语权和发育轨迹,要善于向西方学习,但不能成为西方神话的传播者和维护者。”

《全书》各个分册将陆续出版。虽然几经审校,错误和不足难以避免,恳切希望得到读者的批评和指正,以便再版时修正。

王炜

2012年7月于上海

前言

PREFACE

2010年秋,承蒙王炜教授的信任和支持,交给我们编写《整形美容外科学全书》分册之一《激光整形美容外科学》的任务,在数十位编者的积极参与下,经过近两年的努力,终于完稿。

激光是20世纪最重要的发明之一,1960年美国的Maiman教授发明了第一台红宝石激光器。由于激光完全不同于以往的任何一种光源,具有单色性好、方向性好、亮度高和相干性好等特点,在诞生不久就和医学结下了不解之缘。1961年美国的Goldman教授将其应用在眼科视网膜手术和皮肤血管扩张的治疗,此后,激光逐渐成为医学上一个新的治疗手段,应用在许多专业领域。近20年来,激光医学在整形美容方面的应用发展也非常迅速,以往许多用传统的整形美容手术方法难以获得满意疗效的疾病,通过安全精确、简便快捷的激光治疗就可以获得良好的效果。目前,激光技术已经成为皮肤赘生物、皮肤色素性疾病、血管瘤与血管畸形、多毛症、不良文身以及嫩肤除皱、瘢痕磨削、脂肪消融等美容治疗中不可或缺的手段或首选方法。近年来,激光光电技术在面部年轻化治疗方面进展迅猛,陆续出现了强脉冲光、射频、点阵激光、等离子皮肤再生等新兴的技术。激光技术的进步推动了激光医学基础理论研究和临床应用技术的发展,为整形美容医学提供了有力的技术手段,带动了整形美容医学的快速发展。

对于整形外科医生来说,手术、激光光电、注射美容是必须掌握的三大临床技术。据美国整形外科学协会(ASPS)统计,激光光电治疗的例数近年来不断增多,约占整形外科门诊量的20%左右,成为非手术治疗的主要手段之一。在整个医学发展史中,激光医学是一个新兴的学科,还缺少完整的理论体系及基础研究,而激光技术在美容整形领域的临床应用却日益增加、各种新兴的治疗手段不断推出,亟须补充并增加激光医学理论研究及临床总结,有必要对涉及这些新理念、新技术和新设备的治疗方法与手段进行较为系统的介绍,以供我国从事激光整形美容专业的同仁们参考和借鉴。

这本《激光整形美容外科学》约90万字,有近1000张图片。全书共18章,分为基础知识篇和临床应用篇两个部分。其中第1~8章为基础知识篇,主要介绍了激光的基础知识、激光光电与组织的相互作用和治疗理论、当今最新的光电美容设备及其安全性、激光光电治疗的适应证和禁忌证以及围术期的处理等。第9~18章为临床应用篇,着重介绍了激光光电技术治疗血管性和色素性疾病、激光光电脱毛、激光美容手术、激光治疗皮肤良性增生物、光电嫩肤、痤疮治疗和激光融脂等。本书特别注重内容的实用性、新颖性和科学性,力争做到基础理论与临床实践相结合,系统性与专题性相结合,文字描述与图片展示相结合,希望能给从事激光美容外科的同行们提供参考。

本书的编著者均为国内外在本专业领域内享有盛名的专家及长期从事激光医学临床工作的医师,激光基础章节请中国医学科学院生物医学工程研究所专职研究医疗激光仪器设备的研究员撰写;在各个临床应用章节分别请该领域有丰富经验的一线医生撰写,同时还请了几位具有代表性的国外专家,如日本的葛西健一郎、巴西的Goldman等。所以,本书有非常强的临床指导和应用价值。各位作者在繁忙的医疗、教学和科研工作之余挤出时间完成任务,付出了辛勤的劳动。在编著过程中,《整形美容外科学全书》总主编之一王炜教授对目录和部分内容的修改补充提出了指导性的意见,主编所在单位和浙江科学技术出版社对本书的编著给予了大力支持。在此向所有支持、关心本书的朋友们表示衷心的感谢!

由于参编人员较多,加上我们临床经验的局限性,书中难免挂一漏万、出现错误,恳请从事激光整形美容工作的专家与同仁们提出宝贵的意见和建议,以便再版时修改,使之日臻完善。

李勤 吴溯帆

2012年8月

基础知识篇

2 第一章 激光整形美容外科的发展史

- 第一节 激光光电技术的发展史 2
- 第二节 激光整形美容外科医学发展史 4

9 第二章 激光光电技术的基本原理

- 第一节 光的本质 9
- 第二节 激光产生的原理 12
- 第三节 激光的基本特性 17
- 第四节 激光的生物效应 20
- 第五节 激光单元技术 22
- 第六节 激光的输出 26
- 第七节 强脉冲光 30
- 第八节 射频技术 32
- 第九节 等离子技术 34

37 第三章 光电与组织的相互作用

- 第一节 激光与组织的相互作用 37
- 第二节 强脉冲光与组织的相互作用 40
- 第三节 射频与组织的相互作用 45
- 第四节 选择性光热作用原理 48
- 第五节 扩展的选择性光热作用 51
- 第六节 点阵性光热作用 59
- 第七节 光动力作用 64

70 第四章 整形美容外科常用的激光光电设备

- 第一节 激光器的分类 70
- 第二节 光电剂量与治疗参数 74
- 第三节 临床常用激光光电设备 76
- 第四节 以组织内水分为靶色基的激光设备 78
- 第五节 以血红蛋白为靶色基的激光器 89
- 第六节 以色素为靶色基的激光器 95
- 第七节 脱毛激光设备 98
- 第八节 点阵激光设备 104
- 第九节 强脉冲光设备 107
- 第十节 射频设备 110
- 第十一节 痤疮治疗激光及光子设备 116
- 第十二节 宽带红外光设备 118
- 第十三节 等离子设备 120
- 第十四节 光调作用光子设备 121
- 第十五节 准分子激光器 122

125 第五章 激光与光子美容治疗的麻醉及冷却

- 第一节 麻醉 125
- 第二节 冷却 133

141 第六章 激光光电设备的安全性

- 第一节 激光安全标准 141
- 第二节 围手术期安全措施 142
- 第三节 激光安全的实施 147
- 第四节 其他光电设备的安全性 153

155 第七章 激光光电整形美容治疗的护理

- 第一节 皮肤的护理 155
- 第二节 全身麻醉的围术期护理 158
- 第三节 儿童激光术后的护理特点 160
- 第四节 激光治疗常见的心理问题及其干预 161

167

第八章

激光与光子治疗的禁忌证及并发症

- 第一节 禁忌证 167
- 第二节 并发症 168
- 第三节 并发症的处理 179

临床应用篇

183

第九章

血管性皮肤病

- 第一节 血管性疾病的分类 183
- 第二节 血管性疾病的激光治疗 197
- 第三节 鲜红斑痣 201
- 第四节 血管瘤 216
- 第五节 其他血管性皮肤病 244

263

第十章

皮肤色素增加性疾病

- 第一节 概述 263
- 第二节 表皮色素增加性疾病 270
- 第三节 真-表皮色素增加性疾病 288
- 第四节 真皮色素增加性疾病 304
- 第五节 并发症及其处理 326

331

第十一章

文身

- 第一节 概述 331
- 第二节 文身的组织病理学改变 334
- 第三节 文身的激光治疗 336
- 第四节 外伤性文身的治疗 343

350

第十二章

皮肤色素减退性疾病

- 第一节 白癜风 350
- 第二节 离心性后天性白斑 363
- 第三节 老年性白斑 363

366 第十三章 多毛症

- 第一节 毛发的结构与生理 366
- 第二节 激光脱毛原理 371
- 第三节 脱毛设备 374
- 第四节 临床应用 381

392 第十四章 皮肤良性增生性疾病

- 第一节 脂溢性角化病 392
- 第二节 汗管瘤 394
- 第三节 睑黄瘤 396
- 第四节 软纤维瘤 397
- 第五节 疣 399
- 第六节 鸡眼 403
- 第七节 腋臭 404
- 第八节 皮角 405
- 第九节 粟丘疹 406
- 第十节 皮脂腺痣 407

410 第十五章 激光美容手术

- 第一节 概述 410
- 第二节 激光重睑成形术 412
- 第三节 激光眼袋整复术 415
- 第四节 激光瘢痕磨削术 418
- 第五节 激光包皮环切术 425
- 第六节 激光悬雍垂腭咽成形术 427
- 第七节 激光毛发移植术 429

433 第十六章 激光光电皮肤重建

- 第一节 皮肤老化与光老化 433
- 第二节 选择性光热作用与皮肤重建 436
- 第三节 剥脱性激光皮肤重建 444
- 第四节 非剥脱性激光皮肤重建 471

504

第十七章

激光光电治疗寻常痤疮

第一节	概述	504
第二节	痤疮的药物治疗	513
第三节	痤疮的光电治疗	517

523

第十八章

激光融脂技术

第一节	激光融脂的原理	523
第二节	激光融脂的设备	529
第三节	激光融脂的临床操作步骤	532
第四节	常规的激光融脂部位及典型病例	537
第五节	激光融脂的适应证、禁忌证及并发症	546
第六节	小结	547

549

中英文对照词表

第一章

激光整形美容外科的发展史

第一节 激光光电技术的发展史

激光器的发明是 20 世纪科学技术的一项重大成就,它使人们终于有能力驾驭尺度极小、数量极大、运动极混乱的分子和原子的发光过程,从而获得产生、放大相干的红外线、可见光线和紫外线(甚至 X 射线和 γ 射线)的能力。激光科学技术的兴起使人类对光的认识和利用达到了一个崭新的水平。

科学家们对激光的研究,大致可以 20 世纪 50 年代末作为一个分水岭。此前,人们只对无线电波和微波有较深研究,此后激光研究出现了一个崭新阶段。激光技术的诞生史大致可以分为以下几个阶段:

首先,1916 年科学家爱因斯坦提出了“自发和受激辐射”概念,他在 1917 年就预言受激辐射的存在和光放大的可能,这一概念为现代激光技术奠定了物理学理论基础。这一理论指出,处于高能态的物质粒子受到一个能量等于两个能级之间能量差的光子的作用时,将转变到低能态,并产生第二个光子,与第一个光子同时发射出来,这就是受激辐射。这种辐射输出的光获得了放大,而且是相干光,即多个光子的发射方向、频率、相位、偏振完全相同。

接着,量子力学的建立和发展使人们对物质的微观结构及运动规律有了更深入的认识,微观粒子的能级分布、跃迁和光子辐射等问题也得到了更有力的证明,这也在客观上更加完善了爱因斯坦的受激辐射理论,为激光器的产生进一步奠定了理论基础。另一方面,20 世纪 30 年代,科学家们把无线电波波长缩短到 10m 以内,使得世界性的通信成为可能。后来,随着速调管和空穴磁控管的发明,科学家对厘米波的性质进行研究。我们现在知道产生激光要具备两个重要条件:一是粒子数反转,二是谐振腔。自爱因斯坦提出受激辐射的概念以后,1940 年前后就有人在研究气体放电实验中观察到粒子反转现象,按当时的实验技术基础,就已具备建立某种类型的激光器的条件,但遗憾的是,没有人把受激辐射、粒子数反转、谐振腔联系在一起加以考虑,因而激光器的发明推迟了若干年。第二次世界大战中,由于射频和光谱学的发展,辐射波和原子之间的联系又重新被强调,科学家们发明并研制了雷达。从技术本身来说,雷达是电磁波向超短波、微波发展的产物。20 世纪 40 年代末,量子电子学诞生,并被很快应用于研究电磁辐射与各种微观粒子系统的相互作用,研制出许多相应的器件。这些科学理论和技术的快速发展都为激光器的发明创造了条件。

此后,微波激射器的发明为激光器的诞生奠定了基础。第二次世界大战以后,科学家开创了微波波谱学,目的是探索光谱的微波范围并把其推广到更短的波长。美国哥伦比亚大学物理学家查尔斯·汤斯领导的辐射实验小组一直从事电磁方面以及毫米辐射波的研究,该小组以及苏联物理学