



全国高技术重点图书·激光技术领域

(第二版)

激光加工工艺手册

JIGUANG JIAGONG GONGYI SHOUC

关振中 主编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

激光加工工艺手册

(第二版)

(第二版)

2007年11月第8期 2007年11月第3次印刷

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

激光加工工艺手册/关振中主编. —第二版. —北京: 中国计量出版社, 2007. 10
ISBN 978-7-5026-2638-9

I. 激… II. 关… III. 激光加工—技术手册 IV. TG665-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 058276 号

内 容 提 要

激光加工技术是一门综合性高技术。本书汇集了我国自“六五”计划以来的重点科技攻关成果, 同时收集了大量国外先进资料。全书共分 8 篇, 全面、系统地介绍了激光加工的基本原理、激光器、激光机床和激光在打孔、切割、焊接、硬化、熔覆、毛化、表面强化等方面的应用, 以及激光加工质量检测 and 激光加工技术在新领域中的应用等。本书重视理论联系实际, 配备了大量图表, 具有很强的实用性和可操作性。

本书适合于从事激光技术应用研究和工业生产的工程技术人员、大专院校师生以及实际操作人员阅读和参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 16 开本 印张 27.25 字数 863 千字

2007 年 11 月第 2 版 2007 年 11 月第 3 次印刷

*

印数 6 001—9 000 定价: 68.00 元

Authoritative Supplier of Industrial Laser Solutions

HGLASER

HGLASER

HGLASER

HGLASER

HGLASER

激光打标 激光焊接 激光切割 激光精密加工 激光毛化 激光热处理



HGLASER

HGLASER

HGLASER

HGLASER

武汉华工激光工程有限责任公司是中国最大的激光设备制造商之一，是华工科技产业股份有限公司旗下的核心子公司。华工激光始终致力于为工业制造领域提供广泛而全面的激光加工解决方案，制造和研发各类激光加工成套设备。企业占地23000多平方米，生产60余种激光加工设备，在全国各大中城市及海外市场建立了覆盖全球的营销网络，销售服务机构达56个。

拥有现代化工业厂房，大型数控多功能激光加工机床，多种国际先进水平的高功率工业激光器，先进的材料分析检测设备，集研究开发和应用于一体，已有数十项激光加工科研成果投入生产应用。激光作为提升行业整体竞争力的现代加工工艺被广泛地应用于航空航天、兵器、舰船、石化、家电日用品、医疗、仪表电子、汽车等行业。



光纤激光打标机



半导体泵浦激光打标机



灯泵浦激光打标机



激光焊接机



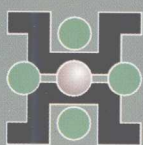
激光调阻机



激光内雕机



激光切割机



武汉华工激光工程有限责任公司

地址：中国湖北省武汉市东湖高新技术开发区华中科技大学科技园华工科技产业园

电话：027-87180200 87180231 87180252 传真：027-87180288

邮编：430223 E-mail: info@hglaser.com

[Http://www.hglaser.com](http://www.hglaser.com)

重視激光加工
研究
完·促進產品開發
加速激光加工
產業化

王石

一九九六年
十月

《激光加工工艺手册》

(第二版)

会员委审编出

编审委员会

名誉主编：王大珩

兰丽来 : 主
果 俊 : 主幅

名誉副主编：冯思健

谷 卿 文

主 编：关振中

丰 祥 荣 : 事干总

主 审：孙中发

(郭 成 画 学 刃 找 以) : 员 委

编 委：(按姓氏笔画为序)

卜宪章 王慰平 邓树森 刘要武

汤祖尧 孙 文 苏宝蓉 李光华

李雨田 杨明江 杨洗陈 孟 勤

胡建东 黄维玲 梁 勇

会员委审编《计算机图形学》

编委审编

黄 鼎 利 : 员委主

(郭 成 画 学 刃 找 以) : 员 委

张 国 文 喜 新 甘 袁 氏 王 靖 干

洪 大 俞 梁 祥 球 平 卦 利 斗 俊

《全国高技术重点图书》

(第二卷)

出版指导委员会
会 员 委 员 会

主 任：朱丽兰

副主任：刘 杲

卢鸣谷

总干事：罗见龙 梁祥丰

委 员：(以姓氏笔画为序)

王大中 王为珍 牛田佳 王守武 刘 仁

刘 杲 卢鸣谷 叶培大 朱丽兰 孙宝寅

师昌绪 任新民 杨牧之 杨嘉墀 陈芳允

陈能宽 罗见龙 周炳琨 欧阳莲 张兆祺

张钰珍 张效祥 赵忠贤 顾孝诚 谈德颜

龚 刚 梁祥丰

《全国高技术重点图书》编审委员会

激光技术领域

主任委员：陈能宽

委 员：(以姓氏笔画为序)

于 敏 王乃彦 甘福熹 史国成

刘 仁 陈佳洱 杜祥琬 俞大光

原 序

世界上第一台激光器于1960年在美国研制成功后不久,我国第一台红宝石激光器于1961年9月在中国科学院长春光机所诞生,这表明我国在激光技术领域的研究工作起步是相当早的。

激光技术从产生到实际应用,周期比较短,它与其他相关学科和技术相互交叉与渗透,从而派生出一些新的前沿领域。其中,激光加工技术的发展更快,应用领域在不断拓宽,规模不断扩大,其经济效益和社会效益越来越显著。

我国的激光加工技术,经过“六五”、“七五”和“八五”国家组织的重点科技攻关,已在激光器件、激光加工工艺等方面取得了初步的、可喜的成果:2~3kW横流CO₂激光器、1kW快速轴流CO₂激光器及百瓦级YAG激光器已形成一定批量生产能力,达到了较高的实用化水平。柴油机缸套的激光热处理,板材的激光切割与焊接,轧辊、叶片和抽油泵柱塞的激光熔覆等,已经具有相当的应用规模和较高的技术水平;激光毛化轧辊技术发展很快,前景广阔。

为了推动我国激光加工技术更快地健康发展,国家科委在“八五”期间安排了《激光加工工艺手册》的编写工作。《手册》的内容将尽可能地汇集我国在“六五”、“七五”乃至“八五”国家科技攻关取得的成果,同时吸收国外的先进经验并进行系统化和实用化的工作,以便于我国产业部门的工程技术人员、高级技工在工作中参考,同时对高校有关专业的师生、有关科研单位的科研人员也有一定参考价值。

参加《手册》编写工作的单位有:开展激光加工研究、生产的有关中央和地方的科研单位、高校和企业。编写人员均是长期在这一领域从事研究、开发和推广工作的科技工作者和工程技术人员。大家都努力工作,希望做好这件事。

但是,激光加工技术毕竟还是一门新兴的、快速发展中的高新技术,许多问题仍在研究和开发之中,尚不成熟。因此,本《手册》只能提供给大家一个参考。由于采用的激光器件、光束质量不同,处理的材料与零件亦千差万别,不可能给出一个完全适合各种应用环境和条件的工艺规范。况且,已经或正在实施的工艺尚须不断改进、完善和提高。

我们希望《手册》的出版对促进我国激光加工产业化进程,对有关企业采用激光加工这一新技术,对工程技术人员具体实际操作能有所帮助!

殷切希望各方面同志对《手册》提出修改意见,以充实《手册》的内容。

冯思健

原版前言

自本世纪 60 年代初激光问世以来,随着世界科技与经济发展的需要,激光技术有了迅速的发展,尤其近十年其发展更为迅速,极大地促进了激光加工技术更广泛的应用。

激光技术是一门综合性高技术,它涉及光学、机械学、电子学等学科。由于激光固有的四大特性(单色性、相干性、方向性和高能量密度),所以它广泛应用于工业、农业、国防、医学、科学实验和娱乐等诸方面,并发挥着重要的作用。

随着生产实践的需求,激光加工工艺越来越受到人们的重视。激光加工工艺涉及光、机、电、材料和其他相关的技术,对不同的加工对象,它有一定的内在规律和特点。我们编写此书的目的就是总结自“六五”国家科技攻关计划以来,我国在各个加工领域和不同加工对象与激光技术的相互关系,把实践的经验升华到理论上来进行进一步指导工作实践。

本书适用于从事各种材料的激光打孔和切割、焊接、刻划、表面强化等方面的应用研究和生产,供从事这方面工作的工程技术人员、教师和工人阅读,具有一定实用性、可操作性,是一本极好的、有价值的工具书。本书编委均为我国长期从事激光加工工艺研究的资深专家,书中尽可能对其工作经验进行总结,并参考国外的文献与资料,力求使本书的内容更接近实用化,更接近生产实践的需要。本书基本反映了我国现阶段激光加工工艺研究的水平,而且收录了我国激光加工技术安全防护标准和国内外主要从事激光器和配套设备的产品和院校的产品,以便读者更好地选择硬件。

本书在编写过程中始终得到国家科委基础研究高技术司的关心和支持,同时,潘秀苗、盛延林同志为此书的顺利出版做了许多工作。

我国激光加工技术虽然已走过近 30 年,但是激光加工工艺系统研究与开发还不够,有些激光加工工艺研究成果可能还未收录进来,已收入本书的还会有欠缺和不足,均有待今后的工作加以补充和提高。

编 者

1998 年 3 月

再版前言

《激光加工工艺手册》第一版由中国计量出版社于1998年6月出版发行，又于2005年9月第二次印刷发行。出版以来，因其内容丰富、实用性强，一直受到读者的关注与欢迎。

近些年来，我国激光加工技术的研究、开发及产业化发展迅速。新型高性能激光器，外观精美、性能优异的加工机床，特别是新的激光加工工艺方法不断涌现，原有的工艺方法也在不断提高和完善，若干个已具有一定规模的、有相当知名度的大型激光产业集团逐步形成。原书中一些内容已明显陈旧或不完善。为此，我们对本书进行修订更新。

趁本书再版的机会，我们将尽力地把近些年来激光加工技术取得的新进展、新成果纳入新版书中，以进一步提升本书的可读性、实用性和可操作性。原书中的内容有些被新的东西取代或补充完善，有些内容属基础性内容，故在新版中仍保留。

值得一提的是，在第1篇中我们对世界上第1台激光器和中国第1台激光器进行了介绍并给出了实物照片。

激光加工技术是一门多学科相互交叉、不同学科相互渗透的快速发展中的高新技术。由于它的影响因素多、可变因素多、被加工的材料与零件亦千差万别，故本书不可能给出完全适合各种应用条件和环境的工艺规范，只是给出一些可以借鉴的参考资料。

本书得到了武汉楚天激光（集团）股份有限公司和华工激光工程有限责任公司的大力支持，在此一并感谢！

真诚希望对本书不妥之处给予批评指正。

关振中
2007年5月

目 录

(14)	第1章 绪论	第1章 绪论	(1)
(81)	第1节 激光的产生及发展简史	第1节 激光的产生及发展简史	(1)
(82)	第2节 激光的特性	第2节 激光的特性	(2)
(82)	第3节 激光加工的特点	第3节 激光加工的特点	(3)
(82)	第2章 激光加工技术发展现状	第2章 激光加工技术发展现状	(4)
(82)	第1节 概述	第1节 概述	(4)
(82)	第2节 国外激光加工技术发展概况	第2节 国外激光加工技术发展概况	(5)
(82)	第3节 我国激光加工技术研究与应用概况	第3节 我国激光加工技术研究与应用概况	(7)
(82)	第3章 激光加工产业化的若干问题	第3章 激光加工产业化的若干问题	(10)
(82)	第1节 概述	第1节 概述	(10)
(82)	第2节 采用激光加工技术应遵循的原则和要求	第2节 采用激光加工技术应遵循的原则和要求	(10)
(82)	第3节 产业化的若干问题	第3节 产业化的若干问题	(10)
(82)	第4节 加强激光加工工艺研究	第4节 加强激光加工工艺研究	(11)
(82)	参考文献	参考文献	(13)
(82)	第2篇 激光加工的技术基础	第2篇 激光加工的技术基础	
(82)	第4章 激光加工系统	第4章 激光加工系统	(14)
(82)	第1节 概述	第1节 概述	(14)
(82)	第2节 CO ₂ 激光器	第2节 CO ₂ 激光器	(15)
(82)	第3节 激光加工用 YAG 激光器	第3节 激光加工用 YAG 激光器	(17)
(82)	第4节 激光加工用其他激光器	第4节 激光加工用其他激光器	(18)
(82)	第5节 正确选用激光器	第5节 正确选用激光器	(19)
(82)	第6节 激光加工机床	第6节 激光加工机床	(20)
(82)	第7节 外光路系统	第7节 外光路系统	(21)
(82)	第5章 激光加工用光学元件	第5章 激光加工用光学元件	(22)
(82)	第1节 概述	第1节 概述	(22)
(82)	第2节 激光器窗口	第2节 激光器窗口	(23)
(82)	第6章 导光聚焦系统及元部件 (激光加工外围系统)	第6章 导光聚焦系统及元部件 (激光加工外围系统)	(31)
(82)	第7章 激光与材料的相互作用	第7章 激光与材料的相互作用	(34)
(82)	第1节 激光材料加工中的基本光学	第1节 激光材料加工中的基本光学	(35)
(82)	第2节 激光固体加热	第2节 激光固体加热	(40)

第3节 激光熔池动力学	(44)
第4节 激光等离子体现象	(48)
第5节 其他物理现象	(50)
第8章 激光束参数测量	(50)
第1节 加工用激光束参数测量的对象和任务	(50)
第2节 激光束功率、能量参数测量	(51)
第3节 激光束模式测量	(57)
第4节 激光束束宽、束散角、传播因子的测量	(59)
第5节 激光偏振态测量	(63)
参考文献	(67)
第3篇 激光打孔	
第9章 概述	(68)
第1节 激光打孔的特点	(68)
第2节 激光打孔的发展概况	(69)
第3节 激光打孔的原理及物理过程	(70)
第4节 激光打孔的分类	(73)
第10章 激光打孔设备	(74)
第1节 激光打孔用激光器	(74)
第2节 激光打孔用光学系统	(77)
第3节 激光打孔用机床	(79)
第4节 激光打孔整机设备简介	(80)
第11章 激光打孔工艺	(82)
第1节 激光打孔工艺过程	(82)
第2节 影响激光打孔质量的主要参数	(82)
第3节 激光打孔的辅助工艺	(86)
第4节 激光打孔的质量检验	(87)
第12章 激光打孔应用实例	(88)
第1节 群孔激光打孔应用实例	(88)
第2节 喷嘴等零件激光打孔应用实例	(90)
第3节 各种材料激光打孔应用实例	(95)
第13章 激光打孔应用展望	(100)
参考文献	(102)
第4篇 激光切割	
第14章 激光切割的特性与原理	(103)
第1节 激光切割的主要特性	(103)
第2节 汽化切割	(104)

第3节 熔化切割	(105)
第4节 氧化熔化切割	(105)
第5节 控制断裂切割	(105)
第15章 激光切割机及工艺参数控制	(105)
第1节 激光切割机的组成及特点	(105)
第2节 主要工艺参数及其控制	(110)
第3节 光束参数对切割质量的影响	(112)
第4节 工件特性对切割质量的影响	(114)
第5节 其他因素对切割质量的影响	(116)
第16章 常用工程材料的激光切割	(117)
第1节 金属材料的激光切割	(117)
第2节 非金属材料的激光切割	(120)
第3节 复合材料的激光切割	(121)
第4节 其他材料的激光切割	(121)
第5节 激光切割的展望	(121)

第5篇 激光焊接

第17章 热传导焊接	(122)
第1节 概述	(122)
第2节 激光焊接热传导理论简述	(122)
第3节 激光焊接工艺参数的选择	(126)
第4节 激光焊接工艺方法	(130)
第5节 激光钎焊	(134)
第18章 激光深熔焊	(135)
第1节 激光深熔焊工艺理论及影响因素	(135)
第2节 激光深熔焊设备	(140)
第3节 激光焊接接头设计	(144)
第4节 钢铁材料的激光焊接	(144)
第5节 有色金属的激光焊接	(145)
第6节 其他材料的激光焊接	(146)
第7节 焊接接头检验	(146)

第6篇 激光硬化(激光淬火)

第19章 激光硬化的基本原理	(147)
第1节 激光硬化分类	(147)
第2节 激光与材料相互作用的物理过程	(148)
第3节 金属材料在激光辐照下发生的变化	(152)
第4节 含碳量及合金元素的影响	(155)

第 20 章 激光硬化工艺及设备	(157)
第 1 节 激光硬化工艺	(157)
第 2 节 表面预处理对激光硬化效果的影响	(164)
第 3 节 原始组织对激光硬化组织性能的影响	(169)
第 4 节 激光硬化后金属材料的组织结构和性能	(171)
第 5 节 激光硬化后的残余应力及变形	(210)
第 21 章 激光硬化后的质量检测	(212)
第 1 节 检测内容及方法	(212)
第 2 节 激光硬化后的产品质量分析	(227)
第 22 章 激光硬化典型实例	(227)
第 1 节 激光硬化工艺适用范围	(227)
第 2 节 激光硬化应用实例	(228)
参考文献	(254)
第 7 篇 激光熔覆与合金化	
第 23 章 激光熔覆与合金化的基础	(258)
第 1 节 激光熔池的温度场及其影响因素	(258)
第 2 节 激光熔池的对流及其影响因素	(260)
第 3 节 激光熔覆与合金化表面形貌及其控制	(265)
第 4 节 激光熔覆与合金化的成分均匀性及其控制	(268)
第 5 节 激光熔覆与合金化层的应力状态、裂纹与变形	(277)
第 6 节 激光熔覆与合金化层的气孔及其控制	(286)
第 24 章 激光熔覆	(287)
第 1 节 常用激光熔覆材料	(288)
第 2 节 激光熔覆工艺流程及相关工艺	(297)
第 3 节 激光工艺参数对熔覆层形状特征的影响	(301)
第 4 节 稀释率与激光工艺参数的关系	(304)
第 5 节 预置粉末层的激光熔化过程与熔覆极限厚度	(307)
第 6 节 镍基合金的激光熔覆	(309)
第 7 节 钴基合金的激光熔覆	(318)
第 8 节 铁基合金的激光熔覆	(326)
第 25 章 激光表面合金化	(330)
第 1 节 激光表面合金化类型	(330)
第 2 节 激光合金化参考的合金系	(331)
第 3 节 激光合金化成分设计及控制	(342)
第 4 节 合金化层的后续处理	(348)
第 5 节 预置涂层激光合金化实例	(350)
第 6 节 硬质粒子注入激光合金化实例	(358)
参考文献	(360)

(10A)	第 8 篇 激光加工在其他领域中的应用	
(10B)	第 26 章 激光毛化冷轧辊技术及应用	(362)
(10C)	第 1 节 毛化技术发展概况	(362)
(10D)	第 2 节 激光毛化轧辊原理与特点	(363)
(10E)	第 3 节 激光毛化装备	(364)
(10F)	第 4 节 激光毛化基本参数及对板材性能影响	(367)
(10G)	第 5 节 YAG 激光毛化应用效果	(371)
(10H)	第 27 章 激光标记	(372)
(10I)	第 1 节 概述	(372)
(10J)	第 2 节 基本原理	(372)
(10K)	第 3 节 激光标记的特点	(372)
(10L)	第 4 节 不同标记方法的比较	(373)
(10M)	第 5 节 激光标记方法	(374)
(10N)	第 6 节 激光标记系统	(375)
(10O)	第 7 节 激光标记用激光器	(376)
(10P)	第 8 节 激光标记工艺的有关问题	(377)
(10Q)	第 9 节 国外激光标记技术概况	(379)
(10R)	第 10 节 国内激光标记技术概况	(380)
(10S)	第 28 章 激光快速成型技术	(380)
(10T)	第 1 节 概述	(380)
(10U)	第 2 节 激光快速直接制造金属零件技术	(382)
(10V)	第 3 节 激光快速成型应用领域及范例	(384)
(10W)	第 4 节 半导体激光快速成型技术	(385)
(10X)	第 5 节 激光诱导化学沉积三维加工技术	(386)
(10Y)	参考文献	(388)
(10Z)	第 29 章 激光辐射烧结粉末冶金制品	(388)
(11A)	第 1 节 概述	(388)
(11B)	第 2 节 激光烧结体的组织与性能	(388)
(11C)	第 3 节 激光烧结的主要工艺参数	(390)
(11D)	第 4 节 激光烧结零件的实例	(390)
(11E)	第 5 节 展望	(394)
(11F)	第 30 章 激光复合加工技术及其应用	(395)
(11G)	第 1 节 概述	(395)
(11H)	第 2 节 激光复合熔覆技术及其应用	(396)
(11I)	第 3 节 感应+激光复合熔覆应用范例	(397)
(11J)	参考文献	(399)
(11K)	第 31 章 激光法制备纳米粉材料	(400)
(11L)	第 1 节 概述	(400)

第2节 激光加热蒸发法制备纳米超细粉技术	(401)
第3节 激光气相反应法制备纳米超细粉技术	(404)
第4节 CO ₂ 激光气相合成硅基纳米粉的制备及应用	(407)
第32章 激光清洗技术及其应用	(413)
第1节 概述	(413)
第2节 激光清洗方法及其配套设备	(414)
第3节 激光清洗的应用领域及其实例	(414)
第4节 激光清洗技术应用前景展望	(417)
参考文献	(418)
(373)	第1章
(373)	第2章
(373)	第3章
(373)	第4章
(374)	第5章
(375)	第6章
(376)	第7章
(377)	第8章
(379)	第9章
(380)	第10章
(380)	第11章
(380)	第12章
(382)	第13章
(383)	第14章
(384)	第15章
(385)	第16章
(386)	第17章
(386)	第18章
(388)	第19章
(388)	第20章
(388)	第21章
(388)	第22章
(390)	第23章
(390)	第24章
(391)	第25章
(392)	第26章
(392)	第27章
(392)	第28章
(392)	第29章
(392)	第30章
(392)	第31章
(392)	第32章
(392)	第33章
(392)	第34章
(392)	第35章
(392)	第36章
(392)	第37章
(392)	第38章
(392)	第39章
(392)	第40章
(392)	第41章
(392)	第42章
(392)	第43章
(392)	第44章
(392)	第45章
(392)	第46章
(392)	第47章
(392)	第48章
(392)	第49章
(392)	第50章
(392)	第51章
(392)	第52章
(392)	第53章
(392)	第54章
(392)	第55章
(392)	第56章
(392)	第57章
(392)	第58章
(392)	第59章
(392)	第60章
(392)	第61章
(392)	第62章
(392)	第63章
(392)	第64章
(392)	第65章
(392)	第66章
(392)	第67章
(392)	第68章
(392)	第69章
(392)	第70章
(392)	第71章
(392)	第72章
(392)	第73章
(392)	第74章
(392)	第75章
(392)	第76章
(392)	第77章
(392)	第78章
(392)	第79章
(392)	第80章
(392)	第81章
(392)	第82章
(392)	第83章
(392)	第84章
(392)	第85章
(392)	第86章
(392)	第87章
(392)	第88章
(392)	第89章
(392)	第90章
(392)	第91章
(392)	第92章
(392)	第93章
(392)	第94章
(392)	第95章
(392)	第96章
(392)	第97章
(392)	第98章
(392)	第99章
(392)	第100章

第1篇 总 论

第1章 绪 论

第1节 激光的产生及发展简史

激光在我国最初被称为“莱塞”，即英语“Laser”的译音，而“Laser”是“Light amplification by stimulated emission of radiation”（意为“辐射的受激发射光放大”）的缩写。大约在1964年，根据钱学森院士的建议，把光受激发射器改称为“激光”或“激光器”。

1. 世界上第一台激光器的诞生

世界上第一台激光器是美国科学家梅曼（T. H. Maiman）于1960年研究成功的。这台红宝石激光器是用一根红宝石棒作为发光物质（棒两头镀上银膜形成反射镜面），棒外套上一支螺旋状的氙气灯，为了充分利用氙灯光，梅曼又在螺旋氙灯外套上一个反射率很高的圆柱，以便使更多的氙灯光照到红宝石上。

1960年7月7日，纽约时报发表了梅曼研制成功第一台激光器的消息，随后又在英国 Nature 和 British Commun 发表，第二年其详细论文在 Physical Review 上刊出。

其实，早在1916年爱因斯坦就曾发表过一篇论文，提出了一种现在叫光学感应吸收和光学感应发射的观点（又叫受激吸收和发射）。有谁能想到，这一观点后来竟成为激光器的主要物理基础。1952年，美国马里兰大学的韦伯开始运用上述概念去放大电磁波，但其工作没能往前发展，也没有引起科学界的广泛注意。只有激光的发明人汤斯（C. Townes）向韦伯索要了论文，继续了这一工作，才打开了一个新的领域。

汤斯的最初设想是，由四个反射镜围成一只玻璃盒，盒内充以铷，盒外放一个铷灯，使用这一装置便可产生激光。汤斯的合作者肖洛（A. Schawlow）长于光谱学，对原子光谱及两平行反射镜的光学特性十分熟悉，便对汤斯的设想提出两条修改意见：一是他证明铷原子不可能产生光放大，建议改用钾（其实钾也不易产生激光）；二是建议只用两面反射镜便可形成光的振荡器，不必沿用微波放大器的封闭盒子作为谐振器。直到现在，尽管激光器种类很多（各种气体的、固体的、离子的和半导体的等），但汤斯和肖洛的这一构思仍为各类激光器的基本结构。

1958年12月“Physics Review”发表了汤斯和肖洛的文章后，引起了物理学界的关注，许多学者参加了这一理论和实验研究，都力争自己能制造出第一台激光器。汤斯在哥伦比亚大学（用钾和铷为发光物质），肖洛在贝尔实验室（用红宝石为发光物质）也开展了实验研究，可惜他们都没有取得成功。原因是汤斯遇到了无法解决的铷和钾蒸气对反射镜的污染问题，而肖洛在实验研究后却误认为红宝石不能产生激光。可是，在一年多以后世界上出现的第一台激光器正是梅曼用红宝石制成的。

尽管世界上第一台激光器不是由汤斯和肖洛研制出来的，但是他们所提出的基本概念和构想却被公认是对激光领域划时代的贡献。

2. 其他种类激光器相继问世

在世界上第一台红宝石激光器问世不久，1960年年底，由工作在贝尔实验室的贾范发明了世界上第一台氦氖激光器，并且在其影响下产生出一系列气体激光器。

此后，1962年出现了半导体激光器；1964年由帕特尔（C. Patel）发明了第一台CO₂激光器；1965年