

中国第一代半导体激光器的研制

康 静

(北京市东直门中学,北京 100007;首都师范大学 物理系,北京 100048)

李艳平

(首都师范大学 物理系,北京 100048)

摘 要 依据中国第一代半导体激光器的主要研制者王守武院士和潘君骅院士的访谈,结合相关档案和学术论文,对中国第一代半导体激光器的诞生历史进行了回顾。1960年代,我国的半导体激光器经历了从无到有的过程。此类激光器与当时国际发展的差距不到一年,是我国半导体激光领域的一个里程碑。

关键词 第一代半导体激光器 半导体研究所 长春光学精密机械研究所

中图分类号 N092:04-092

文献标识码 A

文章编号 1673-1441(2014)01-0032-09

半导体激光器的诞生是半导体光电子事业的开端。在众多的激光器中,半导体激光器独树一帜,具有体积小、重量轻、效率高、价格低廉、应用范围广等许多优点,不仅应用于光存储、光通信等领域,还是计算机、微电子、材料加工等各行各业技术创新的强大推动力。

1962年,世界第一只半导体激光器诞生在美国通用电气实验室。中国最早开展半导体激光器研制的单位是中国科学院(以下简称“中科院”)长春光学精密机械研究所(以下简称“长春光机所”)和中国科学院半导体研究所(以下简称“半导体所”),他们研制成功此类激光器的时间只比国外晚一年,这是我国半导体激光领域的一个里程碑。

关于中国第一只半导体激光器^①的研制,多篇文献有所论述^[1-4],且有不同的说法。本文主要依据历史文献、档案和人物访谈等原始资料,回顾半导体激光器诞生的学术背景,论述半导体所和长春光机所在研制过程中所做的工作,分析比较研究方法的异同及各自优势,以期对我们深入认识此类激光器有所裨益。

收稿日期: 2012-12-06; 修回日期: 2013-12-20

作者简介: 康静,女,1988年生,北京人,首都师范大学物理系2013届硕士,现任北京市东直门中学物理教师;

李艳平(通讯作者),女,1958年生,山东荣成人,首都师范大学物理系教授,主要从事科技史教学和研究工作。

基金项目: 中国科协“老科学家学术成长资料采集工程”(项目编号: 2010CJGC03-37)

① 半导体激光器在50多年的发展中,研制技术和工艺取得了多次突破。最早诞生在半导体所和长春光机所的碲镉汞同质结激光器均属于第一代半导体激光器。

1 半导体激光器诞生的学术背景

激光,即 light amplification by stimulated emission of radiation,简称“laser”。1958年,汤斯(C. H. Towns, 1915 ~)和肖勒(A. L. Schawlow, 1921 ~ 1999年)发表题为“红外与光学激光器”(Infrared and Optical Masers)的论文^[5],提出研制激光器的可能性和设想。此后,各国科学家纷纷提出了各种方案,试图制成这种新光源。1960年,梅曼(T. H. Maiman, 1927 ~ 2007年)研制出世界第一台红宝石激光器,开创了激光技术的历史,使汤斯和肖勒的设想成为现实。中国第一台红宝石激光器于1961年9月诞生在长春光机所,仅比国外晚一年。红宝石激光器诞生后,国内外科学家尝试利用其他工作物质实现受激发光。

1962年,美国通用电气实验室的霍尔(R. N. Hall, 1919 ~)等人率先利用直接带隙砷化镓(GaAs)材料,获得了受激发射。他们的文章发表在当年11月的《物理评论快报》(Physical Review Letters)上。令他们意外的是,同一期上,国际商业机器公司(IBM)也宣布利用红宝石获得相干光发射。一个多月后,又有两个实验室看到这一现象(表1)。

表1 最早宣布半导体激光器研制成功的4篇文献^[6]

作者	题目	单位	收稿日期	发表日期	杂志
R. N. Hall , G. E. Fenner , et.	Coherent Light Emission from GaAs Junction	General Electric Research Laboratory , Schemectady	1962-09-24	1962-11-01	Physical Review Letters
M. I. Nathan , W. P. Dumke , et.	Stimulated Emission of Radiation from GaAs PN Junction	International Business Machines Corporation	1962-10-06	1962-11-01	Applied Physics Letters
T. M. Quist , R. H. Rediker , et	Semiconductor Maser of GaAs	Lincoln Laboratory	1962-10-23	1962-12-01	Applied Physics Letters
N. Holoyak , S. F. Bevacqua , et	Coherent (Visible) Light Emission From Ga(As _{1-x} P _x) Junctions	General Electric Research Laboratory , Syracuse	1962-10-17	1962-12-15	Applied Physics Letters

第一台红宝石激光器诞生后,国内经常组织召开激光学术会议,促进科学家的交流。在中国的半导体激光器诞生前,举办过两次全国性的受激光会议。

1962年1月,由中科院技术科学部组织的中科院光量子放大第一次会议在长春光机所召开。约40人出席会议,提出学术报告15篇,主要为国际上激光技术发展情况的综述。^[7]

1963年7月,全国第二次受激光会议再次在长春光机所召开。参会约有60人,提交论文60多篇,报告了我国已研制成功的红宝石激光器、氦氖激光器、钕玻璃激光器等研究成果。^[7]在会上,半导体所的王守武(1919 ~)和庄蔚华(1934 ~ 1999年),长春光机所的王乃弘(1931 ~)和潘君骅(1930 ~)等在会上提出了利用半导体材料实现受激发光的设想。这次会议反映了我国各类激光器竞相发展的盛况,同时也成为我国半导体激光器研

制的开端。

国内最早开展半导体激光器研究的是半导体所的王守武小组和长春光机所的王乃弘小组,他们独立地开展工作,并且几乎同时观察到砷化镓二极管的受激发光。这项工作与当时国际上的差距不到一年,是我国半导体激光领域发展的一个里程碑^[8]。在半导体激光器的研制方面,半导体所和长春光机所分别有各自的优势:

半导体所的优势在于具有良好的材料制备基础,半导体测试技术在全国领先。半导体所成立于1960年,最初包括5个研究室和4个研究组。林兰英(1918~2003年)任半导体材料室(一室)主任,从事半导体材料的研究;副所长王守武任半导体测试室(三室)主任,负责本所及其他单位的半导体材料、器件测试及测试方法的研究。^[9]在半导体材料方面,一室的科研人员不仅进行了硅材料的研制,还进行了砷化镓材料的研究。早在1960年,林兰英就组织科研人员开始砷化镓单晶的研究。1962年秋,半导体研究所在全国首先生长出砷化镓单晶,为砷化镓激光器的研究做好了材料准备。在半导体测试方面,王守武带领三室人员结束了全国半导体测试中心任务,为开展半导体激光器的研究工作提供了人员储备。

长春光机所的优势在于拥有光学理论扎实的研究人员和十多年的光学研究基础。该所建于1952年,主要从事发光学、应用光学、光学工程、精密机械与仪器的研发生产。60年代初,长春光机所的学术氛围非常活跃,那里的年轻专家们能及时提出非常前沿的科学研究课题,科研成果非常丰富,成为我国激光器的“发源地”。红宝石激光器(1961年,王之江等)^[10]、钕玻璃激光器(1962年4月,干福熹等)^[11]、掺铈氟化钙激光器(1962年,刘颂豪等)^[12]、含钕钨酸钙激光器(1963年11月,刘顺福等)^[13]、氦氛气体激光器(1963年7月,邓锡铭等)^[14]、转镜开关短脉冲激光器(1964年,吕大元等)^[15]的第一次出光都发生在这里。

2 中国第一代半导体激光器的研制过程

激光器主要由泵浦源、工作物质和谐振腔3部分组成。半导体激光器能够直接用电注入激励,易于实现调制,所以关键的问题是解决工作物质和谐振腔。早期的半导体激光器是以砷化镓材料为工作物质,使用研磨抛光晶体的方法制作谐振腔。但是当时国外文献很少提及关键工艺的具体制作方法,所以我国科研人员只能自己摸索解决之道。

2.1 半导体所的工作

1963年9月,经半导体所领导决定,由三室的研究人员承担激光器的研究任务,王守武是该项目的负责人。与此同时,半导体所的科研人员还制定了1964年激光器的研制计划(表2)。由王守武负责,工作人员有许振嘉、庄蔚华、马俊如、刘东源、褚一鸣、张毅、廖春海、钟兴仇、陈玉章、赵建群、彭怀德、周汝生、曾靖、高季麟、黄碧莲、张执中、杨钦英、弓继书、汪兆平、马国峰、林鸿溢共21名,1964年又增加7名^[16]。半导体激光器在短时间内的主要发展方向是由低温脉冲工作提高到室温连续工作,以期能够进行红外通讯。

表 2 1964 年半导体所科研人员制定的砷化镓受激发射器研究题目表^[16]

编号	研究题目名称	主要研究内容	预期达到的目标和要求
1	GaAs 受激发射器作短路红外通讯的研究 (1964 年指标 100 米)	如何制备重掺 GaAs 单晶材料	(1) 先研究在 GaAs 中掺锗的方法,做到能掺杂 $n = (n_0 \pm 2) \times 10^{17-18}$; (2) 保证供给半导体研究所受激发射器所需的各种规格的材料
		杂质在 GaAs 中的扩散工艺	用封管扩散法解决谐振腔制备的需要
		GaAs p-n 结谐振腔的设计	做出能够发射 5 瓦功率的受激发射器,重复频率每秒 20000 次,方向性在 10 度以内
		工艺研究和调制脉冲光的研究	做出重复频率 20000 万次,0.2 微秒宽,7.5 安的调幅脉冲发生器
2	改进现有 GaAs 受激发射器的性能的研究(目标:提高工作温度到室温,能连续工作)	如何获得高纯 GaAs 单晶材料	1. GaAs 单晶的纯度提高到 300°K 时, $n = 10^{16}$, $\mu n = 5000 \sim 6000$
		p-n 结杂质分布测量	(1) 箱法扩散,肯定其杂质分布是否满足要求; (2) 建立两套扩散系统设备
		GaAs 发射光谱和荧光光谱的研究	测量发射光谱的谱线宽度,研究光谱与掺杂的关系
		降低 GaAs 受激发射器的阈电流和提高工作温度	研究出降低阈电流的条件
		分析 GaAs 受激发射器阈电流与温度的关系	计算出阈电流与温度的关系
3	新型 GaAs 受激发射器的探索	用电学法及光电方法分析各种 GaAs 单晶材料的性能	了解各种杂质在 GaAs 材料的行为
		GaAs p-n 结的电学特性研究	(1) 测量 I-V 特性和 C-V 特性,由 C-V 推算附近杂质分布; (2) 正向大电流下结的特性; (3) GaAs 材料的有效寿命
		GaAs 复合参数的研究	研究 GaAs 中复合中心杂质和提高寿命途径
		计算各种杂质在 GaAs 中能级的分裂情况	确定 GaAs 中有利于受激发射的有利杂质
		GaAs 中杂质的顺磁共振吸收的研究	通过顺磁共振实验与理论的对照,肯定杂质在 GaAs 中的状态

半导体所三室的研究人员在设计研、磨、抛晶片加工设备的同时,最初先用手工抛磨砷化镓衬底片。与电子器件室(二室)合作,采用闭管扩散锌的工艺得到 PN 结,并把它制成二极管。当加上较大的正向电流时,在暗室里用变相管可以见到发射荧光。([2], 182 页) 这时工艺的焦点就转移到如何利用 PN 结发光二极管得到激光(电流低于阈值电流发射荧光,高于阈值电流发射激光)。王守武谈到“半导体激光器实际上是 PN 结发光二极管发出的光通过一个谐振腔,这样光的波长就集中起来,我们的关键工艺就是做谐振腔。”^①

① 王义格《王守武院士访谈》,2011 年 7 月 23 日,美国旧金山王守武家中。

最先报道研制出半导体激光器的实验室是采用复杂的光学研磨方法来制作谐振腔^①。与他们不同,半导体所采用了平面解理的方法。利用砷化镓晶体在 110 面的解理面作为光学谐振腔的端面,为了使解理面与 PN 结的结面垂直,采用 100 面作为 PN 结的结面。这种根据半导体特殊性能采用的新方法,优于霍尔等谐振腔的制作方法,提高了谐振腔的质量和重复性。([17] 62 页)

在谐振腔的制作工程中,腔面与结面的垂直度是一个关键性的难题。

PN 结的结面需要跟谐振腔正好垂直,波长符合条件就发光了。这里面有一个晶体定向问题。当时可以用 X 光定向,但是太复杂,我搞了一个用光学定向的方法,就是把解理面和扩散面靠光学的办法使它们相互垂直。^②

这种方法简单而且精度很高,只要用最简单的 40 倍放大镜,即可定准到 0.08 度(包括切割误差在内),对激光器功率提高及成品率提高有很重要的作用,此法还可推广到普遍半导体 III-V 族化合物的定向上([17] 63 页)。

砷化镓激光器的样品做出来了,但阈值电流过高导致激光器只能在低温下工作。1963 年底,科研人员赶到中关村物理所的低温实验室,开始测量前的各项准备工作。测量从上午持续到晚上,仍未见激光。后来又从物理所借来了一台新研制的脉冲发生器,大大加强了发射光的能量。当电流加到某一值时,产生了受激发射。科研人员又经过仔细地测量,确定砷化镓激光器确实激射发光了。

这种半导体激光器是采用扩散掺杂方法在砷化镓基片上获得足以使在正向注入的 PN 结中达到粒子数反转分布的高掺杂浓度,即为通称的同质扩散结。1965 年,王守武等又研制出使用液相外延生长方法制备的同质结砷化镓激光器。([7] 21~23 页)

当时荧光和相干光器件的成品率十分高,已达到国外 1963 年报道的水平。一般荧光器件可达 60% 以上,而得到的相干光器件也能达到 20% 以上,有相当的成熟度([17] 62 页)。1964 年,科研人员用 10 只器件组成了平均功率 1W、脉冲功率 100W 的脉冲源,还将单个器件用于 10km 通信和传输闭路电视。

半导体所从开展任务到建立器件制造条件,只用了 3 个月的时间就完成了。1964 年,这项工作获得了中科院第一批奖励发明项目的一等奖([17] 77 页)。1965 年 1 月,由庄蔚华执笔的《砷化镓 PN 结的受激发射》论文发表在《科学通报》上^[18]。1964 年 8 月,王守武、庄蔚华、彭怀德(1935~)、庄婉如等人又对光谱特性进行研究,《砷化镓 p-n 结的受激发射的光谱特性》发表在《物理学报》上^[19]。

2.2 长春光机所的工作

1963 年下半年,长春光机所的王乃弘在得知国外研制成功半导体激光器后,便着手半导体激光器的研究。中科院上海冶金研究所(2001 年 5 月更名为上海微系统与信息技术研究所)提供了砷化镓材料。

制作半导体激光器除了掺杂,有两点很重要,一是做谐振腔,另外是焊电极。谐

^① 指光子可在其中来回振荡的光学腔体,它由两块互相平行的平面反射镜组成,其中一块反射镜对激光的反射率要求接近 100%,另一块对激光有适当透过率,以便对外输出激光,通过粒子数反转产生激光。

^② 王义格《王守武院士访谈》,2011 年 7 月 23 日,美国旧金山王守武家中。

振腔很小,但那时候解理技术还没有掌握,所以就硬把它磨出来,再用超声波切成小条。另外是焊电极,激光器很小,要焊白金丝电极上去很难,这个办法是我想出来的。起初想用烙铁焊,但烙铁头很大,行不通。后来改用干电池通过可变电阻加热,一点点减少电阻让电流加大,看到白金丝和砷化镓小条接触处的焊锡熔化马上就把电源关掉。

国外的文章中,最起作用的一篇是关于用扩散的方法制成 PN 结以后,在显微镜下去观察接缝的文章,要是接缝很整齐很细就肯定能出激光。要是接缝很模糊,不细,肯定出不了激光。如果拿这样的 PN 结去焊电极,那么以后的工作就白做了。这一点很重要,对我们帮助很大。^①

长春光机所和半导体所制作的砷化镓受激发射器结构十分相近(图 1),其中:①、⑤为金属电极,②为 P 型砷化镓,③为 N 型砷化镓衬底,④为 N 型砷化镓。

半导体激光器在长春光机所不是太受重视,但是领导也鼓励。1964 年的春节左右,一个通宵加班,我们终于看到出激光了,当电流一点点加大到阈值时,通过杜瓦瓶窗口,可看到 PN 结突然发出一个耀眼的红光点。虽然砷化镓的波长在红外(范围),但激光太亮了,肉眼能看到。那时的办公室主任还从食堂买吃的东西慰劳我们。^②

1964 年 2 月 5 日,长春光机所的王乃弘小组独立地观察到砷化镓 PN 结的复合受激发光,同年 7 月就将题为“半导体砷化镓的受激发射”一文发表在《科学通报》上。^[20]

1963 年底,王乃弘利用非受激发射的砷化镓二极管进行光电话通话试验。“开始在长春光机所路西大楼和光机学院之间进行试验,大概两公里。后来要求增加距离,就到吉林市去做。当时的四机部曾经和我们联系过,商谈光电话的事情,但没有谈成。”^[21]光电话热了一阵,不了了之。1964 年 5 月,为发展激光科学技术而建立的中科院光学精密机械研究所上海分所(后更名为中科院上海光学精密机械研究所)成立,共有工作人员 297 名,其中大部分是由长春光机所、中科院电子学研究所抽调过去的。^[22]长春光机所做激光的研究人员均迁往上海,半导体激光器的研究因此而停止。

1964 年 12 月,全国第三次受激光会议在光机所上海分所召开,这也是 1978 年之前的最后一次全国性激光会议。本届学术报告会约有 140 名代表参加,提交论文报告 103 篇([7],181 页)。其中,半导体所和光机所的科研人员报告了各自在砷化镓激光器研究上所取得的成果,并与参会代表进行了讨论。这次会议形成了初见规模的中国激光科技队伍,展示了中国激光的早期蓬勃发展,也明确了下一步的研究方向。^[23]

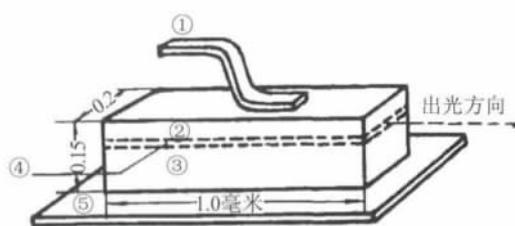


图 1 半导体所制作的砷化镓受激发射器样品结构示意图 [18] 65 页)

① 康静《潘君骅院士访谈》,2012 年 5 月 22 日,苏州大学现代光学技术研究所潘君骅院士办公室。

② 康静《潘君骅院士访谈》,2012 年 5 月 22 日,苏州大学现代光学技术研究所潘君骅院士办公室。

3 研究工作的比较

王守武和王乃弘等在全国第二次受激光会议上提出了研制半导体激光器的设想。会议结束后,他们立即投入到研究工作中,并均在短时间内研制成功半导体激光器。虽然半导体所观察到受激发光的时间早于长春光机所,但长春光机所发表文章的时间比半导体所提前半年。

这两个研究所在相关研究上存在诸多相同之处:

第一,主要研究方法相同。当时国内能获得的国际学术信息很有限,而涉及到半导体激光器研究的文章就更少(《半导体的受激光发射》^[24]),半导体所和长春光机所的主要参考文献均是霍尔于1962年发表的《砷化镓相干光发射》(表1),因此主要的研究方法相同,砷化镓受激发射器的样品也十分相近。

第二,拥有一定的技术基础。半导体技术和激光技术都是研制半导体激光器必不可少的。自成立后,半导体所在材料、器件、测试、电子学等方面取得了诸多成果。其中,林兰英很早就带领一室研究人员进行了砷化镓材料的研究,为激光器的成功研制提供了材料准备。王守武则带领三室进行了三年的材料测试,使研究人员具有扎实的理论与实践功底。长春光机所在最初十年中开展了一系列学术活动,在光学材料、光学设计与检验、光学薄膜技术、电子学技术、光学与精密机械设计、工艺等方面技术已经相当成熟^[25]。

第三,具有良好的人才储备。作为国内最早研制半导体激光器的科学家,王守武和王乃弘在此项工作的开展上具有关键意义。他们能够正确把握科研动向,与国际学术界同时开展激光器的研制工作,解决研制过程中的关键工艺。此外,他们还分别拥有得力的助手,使工作能够顺利开展。半导体所的庄蔚华帮助组织、开展各项研究内容,长春光机所的潘君骅协助解决了研究中的困难,再加上其他研究人员的紧密配合,这项工作才得以有序、快速地开展。

二者的不同之处在于:

第一,谐振腔的制作工艺不同。半导体所采用平面解理技术,而长春光机所则采用抛光晶体的方法。相比于后者,平面解理技术较为简便,易操作,平行度好。世界上早期的半导体激光器谐振腔都是采用抛光晶体方法制作的,只有少数人尝试使用平面解理技术制作谐振腔,但是由于材料问题失败了。这一情况反映出王守武小组使用的方法已达到甚至超越了世界先进水平。

第二,研究的规模和重视程度不同。在半导体所,半导体激光器的研究受到了所领导的重视,经研究决定,由当时的三室来承担这一任务。起初主要研究人员共有21人,后来还有所增加。而在长春光机所,半导体激光器只是众多激光器研究中的一种,又加上本身没有半导体材料,所以这项工作不是太受重视。最初只有王乃弘一人,之后请来了潘君骅、聂朝江等一起开展研制工作。

第三,研究持续的时间不同。在50年的发展过程中,半导体激光器一直是半导体所的主要研究项目,取得了非常多的成果。王守武领导研制成功第一代半导体激光器后,还继续开展新品种激光器的研制工作,指导并参与了激光通讯机和激光测距仪的研制。与半导

体所相比,长春光机所研制半导体激光器的时间非常短,只有一年,并且随着上海光机所的成立而停止,王乃弘也没有继续进行此项研究。另一方面,虽然上海光机所是专门为发展我国激光技术而成立的,但它初期将主要精力投入到大能量激光和大功率激光的研究中,“文化大革命”中后期才陆续开展半导体激光器的工作。

半导体所和长春光机所成为第一代半导体激光器的诞生地并非偶然,它们分别具有研制此类激光器所必需的半导体技术和激光技术,并将其优势充分运用到研究之中。1963年,国家制定了《1963至1972年科学技术发展规划纲要》,激光技术被纳入其中。受此规划的影响,半导体激光器的研制单位扩展到半导体所、冶金所、硅酸盐所、光机所上海分所、吉林大学、清华大学^[26],这一举措大大加快了此类激光器的研制步伐。

在50年的发展中,半导体激光器已经经历了从无到有、从同质结到异质结、从军工到实际应用的飞跃,取得了突破性发展,成为激光大家族中的佼佼者、半导体光电子技术的重要组成部分。随着时间的推移,它必将为我国经济发展、国家安全、人民生活做出更大贡献。

致谢 在本文的写作过程中,王守武院士和潘君骅院士接受了作者的访谈,半导体研究所档案处同意查找相关档案,中国科学院档案馆提供了半导体激光器的档案,在此谨表谢意!

参 考 文 献

- 1 长春光机所志编委会. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所志(1952—2002) [M]. 长春: 吉林人民出版社, 2002.
- 2 庄婉如. 中国第一支半导体激光二极管的诞生 [M]. 夏建白, 陈辰嘉, 何春藩. 自主创新之路——纪念中国半导体事业五十周年 [C]. 北京: 科学出版社, 2006. 182.
- 3 中国科学院办公厅. 中国科学院年鉴(1994) [M]. 北京: 科学出版社, 1994. 146.
- 4 吴熙敬. 中国近现代技术史 [M]. 下册. 北京: 科学出版社, 2000. 1160.
- 5 Schawlow A L, Townes C H. Infrared and Optical Masers [J]. *Phys. Rev.*, 1958, (112): 1940 ~ 1949.
- 6 Russell D. Dupuis. An Introduction to the Development of the Semiconductor Laser [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1987, **QE-23**(6): 651 ~ 657.
- 7 邓锡铭. 中国激光史概要 [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 180.
- 8 王启明. 中国半导体激光器的历次突破与进展 [J]. *中国激光*, 2010, **37**(9).
- 9 王微. 建所初期的机制与人事活动 [M]. 夏建白, 陈辰嘉, 何春藩. 自主创新之路——纪念中国半导体事业五十周年 [C]. 北京: 科学出版社, 2006. 122 ~ 124.
- 10 王之江. 红宝石光量子放大器 [J]. *物理学报*, 1964, **20**(1): 63 ~ 71.
- 11 干福熹, 姜中宏, 蔡英时. Nd^{3+} 激活无机玻璃态受激光发射器工作物质的研究 [J]. *科学通报*, 1964, **9**(1): 54.
- 12 刘颂豪, 沃新能, 林开华, 等. $\text{CaF}_2: \text{Dy}^{2+}$ 荧光晶体的红外受激发射 [J]. *科学通报*, 1964, **9**(1): 56.
- 13 刘顺福, 陈兮, 梁宝根, 等. 掺钨钨酸钙光激光器 [J]. *科学通报*, 1965, **10**(9): 827.
- 14 邓锡铭, 邓继禄, 宋从武, 等. 氦氖混合气体受激光发射器 [J]. *科学通报*, 1963, **8**(12): 40.
- 15 吕大元, 王之江, 余文言, 等. 瞬时大功率红宝石受激光发射器 [J]. *科学通报*, 1964, **9**(8): 733.
- 16 碲化镱受激光发射器研究计划表 [A]. 1963年9月. 中国科学院半导体研究所档案 [R]. 北京: 中国科学院档案馆, 档号: A023-16. 67 ~ 69.

- 17 半导体受激发射器发明记录[A]. 1964年. 中国科学院半导体研究所档案[R]. 北京: 中国科学院档案馆, A023-17.
- 18 刘伍林. 砷化镓 p-n 结的受激发射[J]. 科学通报, 1965 (1): 65~67.
- 19 王守武, 庄蔚华, 彭怀德, 庄婉如, 等. 砷化镓 p-n 结的受激发射的光谱特性[J]. 物理学报, 1965 21(5): 1077~1079.
- 20 王乃弘, 潘君骅, 聂朝江, 等. 半导体砷化镓的受激发射[J]. 科学通报, 1964 (7): 733.
- 21 中国工程院学部工作局编. 中国工程院院士自述[M]. 第2卷. 北京: 高等教育出版社, 2008. 145.
- 22 王扬宗, 曹效业. 中国科学院院属单位简史[M]. 第2卷, 上册. 北京: 科学出版社, 2010. 47.
- 23 干福熹. 回顾中国激光的诞生和早期发展[J]. 中国激光, 2010 9(37): 2183~2187.
- 24 谢希德, 阮刚. 半导体受激光发射[M]. 上海: 上海市科学技术编译馆, 1964.
- 25 陈崇斌, 孙洪庆. 历尽艰辛 锐意创新——中国第一台红宝石激光器的研制[J]. 中国科技史杂志, 2009 30(3): 347~357.
- 26 1963—1972年科学技术发展规划国家重点计划任务书(草案)[A]. 1964年5月. 中国科学院半导体研究所档案[R]. 北京: 中国科学院档案馆, A023-13.

The Development Process of the First Generation Semiconductor Laser in China

KANG Jing ,

(Beijing Dongzhimen High School , Beijing 100007;
Department of Physics , Capital Normal University , Beijing 100048 , China)

LI Yanping

(Department of Physics , Capital Normal University , Beijing 100048 , China)

Abstract In the 1960s , China developed semiconductor laser technology from scratch. In this paper , the development process of the first generation semiconductor laser in China is reviewed using archives and interviews with Academicians Wang Shouwu and Pan Junhua , the main Chinese researchers in this field.

Key words Semiconductor Laser , Institute of Semiconductors , Changchun Institute of Optics