



华夏英才基金学术文库

全固态激光及非线性光学 频率变换技术

All Solid State Laser and Nonlinear
Optical Frequency Conversion Technology

姚建铨 徐德刚 著



科学出版社
www.sciencep.com



中国科学院前沿光学研究中心

全固态激光及非线性光学 频率变换技术

All Solid State Laser and Nonlinear
Optical Frequency Conversion Technology

曹敏 曹建刚 著



中国科学院出版社
www.caspress.com.cn



华夏英才基金学术文库

全固态激光及非线性光学 频率变换技术

**All Solid State Laser and Nonlinear
Optical Frequency Conversion Technology**

姚建铨 徐德刚 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

随着大功率半导体激光二极管的发展,采用激光二极管泵浦的全固态激光器(DPL)已成为当前激光技术研发的热点之一。非线性光学频率变换技术(NOFCT)也随着新型非线性光学晶体材料的出现和应用的需要,得到了快速发展。本书针对这两个领域的实验和研究展开详尽的介绍,全书共分为11章,内容包括:全固态激光器和非线性光学频率变换的发展历史及研究现状;最常用的DPL工作物质及若干典型的新型NOFCT材料;DPL的泵浦方式、热效应及其补偿方法,主要运转方式,即连续及脉冲运转(包括锁模运转);谐振腔设计;激光二极管泵浦的光纤激光器及全固态可调谐激光器;非线性光学频率变换技术和采用周期极化晶体的准相位匹配技术等。

全书总结了当代全固态激光技术及非线性光学频率变换技术的最新成就,不仅涵盖了国际、国内最新成果的介绍,而且还提供了大量的资料、图表及数据;不仅包含系统的理论分析、数据计算结果,而且尤为侧重对实用器件的结构、参数设计及实验例证的介绍和归纳。

本书可供高等学校激光及相关专业师生以及从事激光技术的研究人员、工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

全固态激光及非线性光学频率变换技术 = All Solid State Laser and Non-linear Optical Frequency Conversion Technology/姚建铨,徐德刚著. —北京:科学出版社,2007

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-017943-2

I. 全… II. ①姚…②徐… III. ①固体激光器②非线性光学-频率变换器 IV. ①TN248.1②TN74

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第100920号

责任编辑:张 敏 / 责任校对:邹慧卿
责任印制:刘士平 / 封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年6月第一次印刷 印张:51

印数:1—2 500 字数:910 000

定价:120.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

序

激光与光电子技术是信息技术的支柱及核心技术之一，对现代科学技术的发展将产生巨大的推动作用。20世纪80年代以来，随着大功率半导体激光二极管的发展，采用激光二极管泵浦的全固态激光器（DPL）以其效率高、体积小、光束质量好等优点，在众多的激光技术中异军突起，成为当前激光技术研发的热点之一。伴随着新型非线性光学晶体材料的出现和应用的需要，非线性光学频率变换技术（NOFC）也得到了快速的发展，它极大地拓宽了激光的波长范围和应用领域。因此，全固态激光和非线性光学频率变换技术的研究不仅具有重要的学术意义，而且具有重要的应用价值。

天津大学姚建铨院士和他领导的研究集体长期致力于全固态激光和非线性光学频率变换技术领域的研究，在理论和实验上取得了许多有创造性的、高水平的重要成果。十年前出版的《非线性光学频率变换及激光调谐技术》（科学出版社）一书，是他们第一阶段研究成果的总结。我荣幸地曾为该书作过序。自20世纪90年代初，姚建铨院士又带领研究集体在全固态激光技术领域进行了艰苦而卓有成效的研究工作。事隔十年，他与他的学生徐德刚博士系统全面地总结了有关全固态激光器和非线性光学频率变换领域的理论和实验研究成果，写出了这本专著——《全固态激光及非线性光学频率变换技术》。该书总结了当代全固态激光技术及非线性光学频率变换技术的最新成就，是他们在这一领域的研究成果的总结和升华，是《非线性光学频率变换及激光调谐技术》一书的发展，也是我国在这一领域内自己撰写的、理论和实践并茂且特色鲜明的科技专著。

该书既有系统的理论分析和国内外的最新研究成果，又有实用器件的结构、参数设计及实验例证。全书内容包括：DPL工作物质及若干典型的新型NOFC材料、泵浦方式、热效应管理、谐振腔设计、DPL的主要运转方式、全固态光纤激光器、全固态可调谐激光器及非线性光学频率变换技术，特别是论述了周期极化晶体——准相位匹配技术。该书将DPL与NOFC有机地结合，是一本理论和实践结合、内容丰富、实用性很强的科技专著。相信该书的出版将会有力地促进我国激光技术的发展。



2007年1月20日于清华大学

前 言

自 1960 年世界上第一台激光器诞生以来, 各类激光器及激光技术发展极为迅速。激光技术在国民经济各个领域, 特别是科学研究及国防建设等领域得到了广泛的应用, 已经成为现代科学技术及社会发展的重要支柱之一。其中, 固体激光器的发展尤为突出, 它在材料加工、军事与医学等方面呈现出巨大的应用潜力; 但固体激光器具有的转换效率较低的固有不足, 大大限制了它的发展, 高功率激光器件更受其限制, 致使 20 世纪 70 年代以后固体激光器的发展日趋缓慢。

20 世纪 80 年代以来, 科学家们针对传统固体激光器的不足, 摒弃了闪光灯泵浦方式, 采用与固体激光介质的吸收峰相匹配的激光二极管泵浦方式, 使固体激光器的效率大大提高, 从而达到减少热效应, 改善光束质量及提高稳定性的目的, 同时, 这类激光器还具有体积小和重量轻的特点。这类激光器在学术上称“激光二极管泵浦的固体激光器”(laser diode pumped solid state laser, LDPSSL 或 DPL), 亦称“全固态激光器”(all solid state laser)。全固态激光器的问世是激光技术领域的一场革命, 由于固体激光工作介质覆盖的波段广, 运转方式多样, 加之可配合各种非线性光学频率变换技术(NOFC), 因而 DPL 具有逐步取代气体、液体及传统固体激光器的可能性。同时, DPL 也进一步推动了激光应用技术的发展。

有关激光二极管泵浦的固体激光器的研究、开发及产业化, 已成为当今国际激光技术发展的热点之一, 每年有数千篇相关论文发表, 已成为众多国际、国内学术会议的中心议题之一。目前国外尚未有系统介绍 DPL 的书籍, 国内仅有重庆师范大学戴特力教授编著的《半导体二极管泵浦的固体激光器》(四川大学出版社, 1993, 23 万字)。该书内容全面, 提供了四百余篇参考文献。近十多年来, 国际上 DPL 技术又有了很大的发展, 器件及技术水平显著提高, 特别是大功率 DPL 的发展, 使激光应用技术进入了崭新的阶段。因此, 很有必要系统地总结有关激光二极管泵浦的固体激光器的理论、实验研究、设计方法及相应的技术, 以推动 DPL 激光技术的发展。

全书共分 11 章: 第 1 章概述 DPL 和 NOFC 的发展历史及研究现状; 第 2 章论述最常用的 DPL 工作物质及若干典型的新型 NOFC 材料; 由于 DPL 与常规

固体激光器的重要区别在于泵浦方式及热效应管理,第3和4章专门论述了DPL的泵浦方式、热效应及其补偿方法;谐振腔设计是提高DPL的输出及改善光束质量的关键,第5章就此做了专门论述;第6和7章分别论述了DPL的主要运转方式,即连续及脉冲运转(包括锁模运转);作为DPL的重要分支,激光二极管泵浦的光纤激光器及全固态可调谐激光器分别在第8和9章中进行论述;为扩展DPL的工作波段,除了采用可调谐技术外,十分重要而实用的是采用非线性光学频率变换技术,第10章是在《非线性光学频率变换及可调谐激光技术》(姚建铨,科学出版社,1995,60万字)一书的基础上发展而成的;采用周期极化晶体的准相位匹配技术是非线性光学频率变换技术的国际最新发展及成就,作为本书的特色之一,第11章对其做了深入论述。特别要指出的是,除了在第10和11章专门论述NOFC以外,其他章节也有关于DPL与NOFC相结合的内容及论述。本书含两个附录,附录I为我们研究所发表的有关DPL和NOFC论文的目录;附录II为有关非线性频率变换和谐振腔计算的Matlab源程序。

本书总结了当代全固态激光技术及非线性光学频率变换技术的最新成就,既介绍了国际、国内的最新成果,又提供了大量的资料、图表及数据;既有系统的理论分析、数据计算结果,又有实用器件的结构、参数设计及实验例证。书中900余个公式及700余幅图表将提供读者有关全固态激光及非线性光学频率变换技术的原理、理论及有关技术。本书中部分理论及相关技术对其他激光及相关领域也具有普遍的意义。本书有一定的理论体系,可供高等学校有关专业师生,从事激光技术的研究人员、工程技术人员参考。

本书是天津大学激光与光电子研究所多年来研究工作的总结,研究所全体成员二十多年来艰苦而卓有成效的工作奠定了本书的基础。本书很多内容取材于本人及本人的研究生的论文,周睿、张百钢、丁欣、张强、蔡志强及温午麒等曾为本书的初稿提供了资料,在此一并表示感谢。本书的完成要感谢重庆师范大学戴特力教授,他曾对本书提出了有益的建议;感谢德国柏林工业大学H. Weber教授,法国ENS(Cachan)的J. Zyss教授、Zondy教授,香港科技大学郭海成教授及台湾大学杨志忠教授对本书部分内容的有益建议。同时,感谢张玲博士为全书的文字进行的精心的校正。

本书的合著者徐德刚博士除撰著之外,还在图文修订方面做了大量的工作,师生通力合著,甚为愉快。

今年正值我国光学事业的奠基人、开拓者——王大珩院士的90寿辰。回忆

自己从事研究工作的经历，王先生坦荡而博大的胸怀、渊博而深邃的知识、孜孜不倦为科学而献身的精神，始终是激励我在激光领域拼搏的动力。长期以来，我受到王先生的鼓励和支持，从学术思想的启迪到研究领域的拓展等诸多方面，深深感受到先生的亲切教诲与关爱，使我终生难忘。作为晚辈，我谨以此书奉献给恩师。

2005年是天津大学建校110周年，也是苏州中学的百年校庆、千年府学纪念之年。在我国科学技术欣欣向荣的今天，我谨以本书，奉献给我国的激光界及哺育我成长的母校——无锡胶南中学（现为无锡堰桥中学）、苏州中学和天津大学，献给几十年如一日全心支持及帮助我的家人。

如果本书能对从事全固态激光及非线性光学频率变换技术的研究人员、科技人员和高等学校师生起到参考作用，对我国的激光及光电子技术有一定推动作用的话，我将十分欣慰。

姚建铨

2005年12月30日于天津大学

目 录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 全固态激光器及非线性光学频率变换技术发展的历史	3
1.1.1 萌芽期：20 世纪 60 年代	3
1.1.2 缓慢发展时期：20 世纪 70 年代	4
1.1.3 蓬勃发展时期：20 世纪 80 年代	6
1.1.4 飞速发展时期：20 世纪 90 年代至今	11
1.2 全固态激光器及频率变换技术的发展	26
1.2.1 高功率 DPL	26
1.2.2 应用于军事领域的 DPL	27
1.2.3 大功率三基色 DPL	27
1.2.4 紫外与深紫外波段的 DPL	28
1.2.5 可调谐全固态激光器	28
参考文献	29
第 2 章 全固态激光器的工作物质及非线性光学材料	48
2.1 全固态激光器的工作物质	48
2.1.1 掺钕钇铝石榴石 (Nd: YAG)	48
2.1.2 钕玻璃 (Nd: Glass)	54
2.1.3 掺钕钒酸钇 (Nd: YVO ₄)	58
2.1.4 掺钕氟化钇锂 (Nd: YLF)	62
2.1.5 掺钕铝酸钇 (Nd: YAP)	64
2.1.6 掺钕铝酸镁镧 (Nd: LMA)	68
2.1.7 掺钕钒酸钷 (Nd: GdVO ₄)	70
2.1.8 多晶 Nd: YAG 陶瓷	72
2.1.9 Er: YAG	77
2.1.10 钪玻璃	78
2.1.11 Tm, Ho: YVO ₄	79

2.1.12	Ho, Yb: YVO ₄	80
2.1.13	Yb: YAG	82
2.1.14	以过渡金属离子为激活离子的激光晶体	89
2.2	非线性光学晶体材料	89
2.2.1	磷酸氧钛钾 (KTiOPO ₄ , KTP) 晶体	90
2.2.2	偏硼酸钡 (β -BaB ₂ O ₄ , BBO) 晶体	99
2.2.3	三硼酸锂 (LiB ₃ O ₅ , LBO) 晶体	105
2.2.4	硼酸铯锂 (CsLiB ₆ O ₁₀ , CLBO) 晶体	112
2.2.5	三硼酸铋 (BiB ₃ O ₃ , BIBO) 晶体	120
2.2.6	氟硼酸铍钾 (KBBF) 晶体	123
	参考文献	130
第3章	全固态激光器的光泵浦系统	135
3.1	激光二极管的基本原理及器件结构	135
3.1.1	激光二极管基本原理	136
3.1.2	典型激光二极管器件结构	137
3.1.3	高功率激光二极管阵列	141
3.2	端面泵浦耦合系统	144
3.2.1	光学透镜耦合端面泵浦结构	145
3.2.2	光纤耦合端面泵浦结构	148
3.2.3	端面泵浦耦合计算和设计	151
3.3	高功率激光二极管阵列泵浦耦合系统	169
3.3.1	高功率激光二极管阵列泵浦耦合结构	169
3.3.2	侧面泵浦耦合计算和设计	174
	参考文献	181
第4章	全固态激光器的热效应	185
4.1	侧面泵浦全固态激光器的热效应	185
4.1.1	激光晶体中的温度分布及热效应	186
4.1.2	Nd: YAG 棒的特性与温度的关系及其影响	194
4.1.3	Nd: YAG 棒中的泵浦光分布及其影响	197
4.1.4	热效应的消除及补偿	201
4.1.5	Nd: YAG 热效应的测量及结果	203
4.2	端面泵浦全固态激光器的热效应	207
4.2.1	端面泵浦全固态激光器中的热效应	207

4.2.2	热透镜效应的测量	225
4.2.3	热效应的缓解和补偿	228
4.3	高功率全固态激光器中非线性晶体的热效应	232
4.3.1	非线性晶体中的自热效应	232
4.3.2	KTP 倍频晶体中的温度分布	233
4.3.3	KTP 倍频晶体中的热效应对倍频转换的影响	236
4.3.4	高功率内腔倍频激光器	241
	参考文献	246
第 5 章	全固态激光器的谐振腔技术	254
5.1	谐振腔设计的基本原理	254
5.2	基模动态稳定腔技术	256
5.2.1	基模动态稳定腔的基本原理	256
5.2.2	基模动态稳定腔的失调灵敏度	262
5.2.3	基模动态稳定腔的设计准则	264
5.3	双棒串接腔和热致双折射补偿腔	268
5.3.1	双棒串接腔	268
5.3.2	热致应力双折射补偿技术	276
5.4	像散腔的计算和设计	280
5.4.1	像散的产生	280
5.4.2	像散补偿	281
5.4.3	稳区及腔内光束分布	284
5.5	其他典型谐振腔的设计举例	289
5.5.1	棒成像非稳腔和近共心非稳腔	289
5.5.2	主动振荡-功率放大 (MOPA) 系统及多程放大、相位共轭技术	291
5.6	类高斯分布理论	294
5.6.1	混合模的横向分布	295
5.6.2	混合模光束的特征	300
5.6.3	类高斯光束在均匀介质中的传播及变换	301
5.6.4	混合模系数 M 的测量	302
	参考文献	305
第 6 章	全固态连续激光器	308
6.1	端面泵浦的 Nd:YAG 晶体准三能级系统连续运转特性分析	308
6.1.1	端面泵浦的 Nd:YAG 激光晶体准三能级系统模型	309

6.1.2	反转粒子数密度分布	314
6.1.3	归一化输出特性	319
6.2	端面泵浦全固态连续激光器	329
6.2.1	大功率连续运转 946nm Nd: YAG 激光器	329
6.2.2	大功率连续运转全固态蓝光激光器	341
6.2.3	大功率连续运转全固态 Nd: YVO ₄ 1342/671nm 激光器	352
6.3	侧面泵浦高功率全固态连续激光器	362
6.3.1	基于 Nd: YAG 晶体的高功率全固态激光器	365
6.3.2	基于陶瓷 Nd: YAG 晶体的高功率全固态激光器	372
6.4	全固态多波长激光器	374
6.4.1	全固态激光器多波长同时振荡条件	374
6.4.2	全固态 Nd: YAG 多波长激光器	376
6.4.3	全固态 Nd: YVO ₄ 多波长激光器	401
	参考文献	413
第 7 章	全固态脉冲激光器	424
7.1	内腔倍频调 Q 激光器理论分析	424
7.1.1	内腔倍频调 Q 激光器速率方程	424
7.1.2	速率方程的求解及结果分析	427
7.1.3	适合高功率激光器的声光 Q 开关	429
7.2	高功率全固态调 Q 内腔倍频绿光激光器	431
7.2.1	采用双端倍频输出方案	432
7.2.2	采用双调 Q 和强冷却倍频晶体方案	433
7.2.3	采用单调 Q 器件和热稳腔方案	436
7.2.4	采用 LBO 倍频晶体方案	438
7.2.5	采用高温 KTP 倍频晶体方案	440
7.3	高功率全固态准连续红光激光器	442
7.3.1	基于侧面泵浦直腔结构的全固态红光激光器	442
7.3.2	基于侧面泵浦折叠腔结构的全固态红光激光器	445
7.4	准连续运转掺钛蓝宝石激光器	447
7.4.1	准连续钛宝石激光器结构设计	447
7.4.2	实验结果分析	452
7.5	全固态锁模激光器	456
7.5.1	SESAM 被动锁模激光器的发展现状	457

7.5.2 激光谐振腔设计程序	463
7.5.3 SESAM 皮秒锁模激光器	471
参考文献	485
第 8 章 光纤激光器及放大器	491
8.1 光纤激光器简介	491
8.1.1 光纤激光器	491
8.1.2 光纤激光器的主要特点	493
8.2 掺稀土光纤制作及光纤特性	495
8.2.1 掺稀土离子光纤的制作技术简介	495
8.2.2 光纤特性	499
8.3 光纤激光器的基本理论	506
8.3.1 光纤波导中的模式理论	506
8.3.2 光纤激光器输出特性理论	512
8.3.3 双包层光纤激光器的吸收特性	515
8.3.4 内包层形状对吸收效率的影响	518
8.3.5 光纤激光器的耦合技术	522
8.4 各种类型光纤激光器	528
8.4.1 连续运转光纤激光器	528
8.4.2 脉冲运转光纤激光器	534
8.5 光纤放大器	544
8.5.1 光纤放大器的分类	544
8.5.2 光纤放大器的研究进展和发展趋势	547
8.5.3 宽带光纤放大器	551
参考文献	568
第 9 章 全固态可调谐激光器	578
9.1 可调谐激光晶体材料	578
9.1.1 过渡金属离子掺杂的激光材料	578
9.1.2 稀土离子掺杂的固体激光材料	587
9.1.3 掺钛蓝宝石晶体 ($Ti^{3+} : Al_2O_3$)	597
9.2 全固态可调谐激光器的波长调谐和线宽压窄技术	603
9.2.1 棱镜调谐与线宽压窄	603
9.2.2 光栅调谐与线宽压窄	608
9.2.3 双折射滤波器的调谐与线宽压窄	610

9.2.4	标准具调谐和线宽压窄	620
9.2.5	种子注入技术	623
9.3	宽带可调谐钛宝石激光器	633
9.3.1	准连续运转掺钛蓝宝石激光器的时间特性	633
9.3.2	输出脉冲宽度及延迟时间随各参数的变化关系	636
9.3.3	准连续运转钛宝石激光器的输出功率	641
	参考文献	644
第 10 章	非线性光学频率变换技术	652
10.1	三波互作用的耦合波方程	652
10.1.1	三波互作用的稳态耦合波方程	652
10.1.2	三波互作用的瞬态耦合波方程	653
10.1.3	曼莱-罗威关系	655
10.1.4	光倍频及光混频的稳态小信号解	655
10.1.5	高斯光束倍频效率的计算	657
10.1.6	高斯光束的内腔倍频	658
10.2	非线性光学晶体性质及单轴晶体相位匹配技术与有效非线性系数的计算	659
10.2.1	非线性光学晶体的性质	659
10.2.2	单轴晶体的相位匹配及非线性系数的计算	665
10.3	双轴晶体的相位匹配及非线性系数的计算	674
10.3.1	双轴晶体的相位匹配的计算	674
10.3.2	双轴晶体中三波互作用的有效非线性系数 d_{eff} 计算	677
10.3.3	双轴晶体中温度对三波互作用相位匹配及有效非线性系数的影响	684
10.4	非线性光学晶体中三波互作用允许参量的计算	687
10.4.1	单轴晶体中三波互作用的允许参量计算	687
10.4.2	双轴晶体中三波互作用的允许参量计算	693
10.5	双轴晶体中光波走离角及其对三波互作用的影响	704
10.5.1	双轴晶体中光波的走离角计算	704
10.5.2	双轴晶体中光波走离角对三波互作用的影响	706
	参考文献	710
第 11 章	全固态准相位匹配技术	712
11.1	周期极化晶体	712
11.1.1	几种获得周期极化晶体的方法	713

11.1.2	周期极化晶体制作的发展过程	714
11.1.3	几种极化晶体的比较	715
11.1.4	国内外研究现状	720
11.2	准相位匹配技术和光学参量振荡器的基本原理	721
11.2.1	准相位匹配技术的基本原理	721
11.2.2	准相位匹配技术的优点	725
11.2.3	光学参量振荡器的基本原理	726
11.3	周期极化铌酸锂晶体的光学参量振荡器理论	732
11.3.1	准连续 OPO 角度调谐理论曲线计算	732
11.3.2	准连续 OPO 其他调谐方式理论曲线计算	736
11.4	温度调谐 PPLN 光学参量振荡器	739
11.4.1	共焦腔结构	741
11.4.2	平凹腔结构	742
11.4.3	多种非线性效应	746
11.5	角度调谐 PPLN 光学参量振荡器	748
11.5.1	角度调谐 PPLN-OPO 泵浦源	748
11.5.2	角度调谐 OPO 和 OPG	752
	参考文献	759
附录 I	天津大学激光与光电子研究所发表的有关 DPL 及 NOFC 的论文	765
附录 II	有关非线性频率变换和谐振腔计算的 Matlab 源程序	784

第 1 章 概 述

1960 年，美国科学家梅曼用脉冲氙灯激励红宝石晶体，获得 694.3nm 的激光输出，从此诞生了世界上第一台固体激光器。自此以后，惰性气体灯成了各类固体激光器重要的泵浦源，它们具有输出功率高，光束质量好，固体介质寿命长且坚固等优点。但气体放电光源的电光转换效率不高（小于 15%）；辐射光谱太宽（紫外至红外），固体激光介质的吸收谱带宽有限，因而激光效率较低（小于 5%）；无用的紫外辐射使激光晶体寿命降低；多余的红外辐射加热激光晶体，致使激光束质量变差，并且为去除多余的热量还需要庞大的水冷系统。另外，气体放电光源寿命短、易碎、更难以模块化生产。这使得闪光灯泵浦的固体激光器诞生 40 年来，虽然应用领域已非常广泛，但仍处于多品种、高损耗、低效率状态。

半导体激光器采用电注入式 PN 结发射激光，谱宽很窄（纳米量级），波长可调，量子效率接近 1，其大功率器件的激光效率超过 50%，寿命长达万小时，且体积小，十分牢固。虽然半导体激光器的光束质量很差，发散角也很大（几十度），并且不对称，但是它的输出波长可以调整到激光晶体吸收带，因而效率极高，热效应也随之大大降低。从激光器诞生开始，科学家们就预言，输出光波长在 800~900nm 之间的窄带半导体光辐射二极管，能够为固体激光介质中的几种稀土离子提供有效的泵浦。在科研人员意识到以半导体激光器泵浦固体激光介质的潜在优势后，一代新型固体激光器——全固态激光器诞生了，这可以说是固体激光技术的一场革命。

全固态激光器（all solid state laser）是指用激光二极管（laser diode, LD）代替闪光灯泵浦固体激光增益介质的激光器，也称为激光二极管泵浦的固体激光器（laser diode pumped solid state laser, LDPSSL 或 DPL）。图 1.1 所示为典型

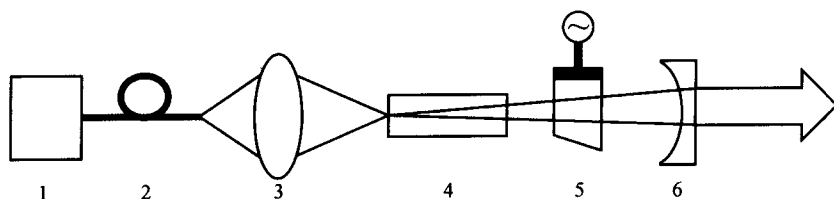


图 1.1 激光二极管泵浦的固体激光器装置图

1. 激光二极管；
2. 光纤；
3. 耦合透镜；
4. Nd:YAG；
5. 声光 Q 开关；
6. 输出镜

的激光二极管端面泵浦的固体激光器的装置图。它集两种激光器的优势于一体,具有转换效率高、器件结构紧凑、体积小、寿命长、可靠性高、结构牢固、光束质量好、输出能量大、峰值功率高、工作介质覆盖的波段广及运转方式多样等优点,与非线性光学频率变换技术相结合,可实现多种波长的运转,已成为新一代的优质相干光源,成为当前激光技术发展的主要方向,也进一步推动了众多激光应用技术的发展。

DPL 激光器在民用方面,如激光加工、激光通信及激光医疗等方面有极大的市场潜力;而在军事应用领域,采用 808nm 大功率半导体激光器作为泵浦源的小型化 Nd:YAG,已在激光测距、测速、激光制导、激光引爆及激光雷达等方面广泛应用。DPL 激光器与钕玻璃激光功率放大器结合,是实现激光受控核聚变的重要手段,在激光核引爆和核能的和平利用上都有重大的意义。在空间应用及天地平台间的空间光通信领域,半导体大功率激光器受到很大重视。美国劳伦斯-利弗莫尔国家实验室(LLNL)在“防御者”计划中研究的反导弹武器,采用 DPL 系统的功率为 10^6 W 激光器,能同时对付大量导弹目标,在 100~150km 处拦截助推阶段的 TBM,重量仅 1000kg,比化学激光武器体积小 1~2 个数量级。林肯实验室已研制了能精确跟踪火箭卫星的 DPL Nd:YAG 激光雷达。由此可见,激光武器不仅在战术上,而且在战略武器中也扮演着极为重要的角色。在各类精密制导武器中,使用于海湾战争中的基于 DPL 的光电子武器占 8%~10%,在“沙漠之狐”行动中已达 70%,而在科索沃战争中则上升到 90%。美国等军事大国已将高功率半导体激光器放在禁运之列。可见,在未来国家安全防务中,缺少这类光电子武器,后果不堪设想。

自 20 世纪 60 年代提出 DPL 以来,全世界范围内迅速掀起了研究热潮,经过 20 多年的发展,人们在 90 年代实现了中低功率 DPL 器件的实用化和产业化。许多传统激光器,如离子激光器、金属蒸气激光器、He-Ne 激光器、准分子激光器、染料激光器以及灯泵浦固体激光器等的大部分市场正在被 DPL 所取代。例如,采用大功率 LD 光纤模块泵浦 Nd:YVO₄ 激光晶体,使用 KTP 或 LBO 等非线性晶体倍频产生连续波绿光(532nm)激光器,输出功率 5~10W,与相同功率的氩离子激光器(488nm, 514nm)相比,耗电仅为 1%,体积只有其 10%,寿命提高数倍,并且没有氩离子激光所必需的米级长度的石英玻璃气体放电管,激光输出的稳定性和信噪比亦明显提高。90 年代, DPL 的开发成了国际激光发展的主要方向,进展极快,年产值自 1996 年以来呈直线上升,1996~1997 年度增长 57% 以上(如图 1.2 所示)。由于很多支柱产业需求的带动, DPL 的发展正处在规模产业的前夜,呈现出前所未有的上升势头。据不完全统计,今后仅商用器件的生产就可达 2 亿美元/年(军用市场与商用市场大体相当),预计