

学校编码: 10384

学号: 23120091152694

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

**Yb:YAG 强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器  
性能研究**

**Study on Enhancement of Self-Q-Switched Cr,Yb:YAG  
Lasers by Bonding Yb:YAG**

马 剑

指导教师姓名: 董俊 教授

专 业 名 称: 光学工程

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩时间: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(董俊教授)课题(组)的研究成果,获得(董俊教授)课题(组)经费或实验室的资助,在(厦门大学电子工程系先进固体激光)实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名): 马剑

2012年 6月 7日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

(       ) 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于     年     月     日解密，解密后适用上述授权。

(  ) 2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人（签名）：马剑

2012年    6月    7日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器是一种可以实现短脉冲、高峰值功率、高重复频率脉冲激光输出的全固态激光器，具有效率高、小型化、寿命长和性能稳定等优点，在激光加工、激光点火、激光测距和高效非线性转化等领域有着广泛的应用潜力和前景。本文首先介绍了激光二极管泵浦被动调 Q 固体激光器的应用前景，然后介绍了激光二极管泵浦被动调 Q 固体激光器的发展历程和掺 Yb<sup>3+</sup>离子激光材料用作被动调 Q 激光工作物质的优点与研究进展。分析了 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器的研究成果和存在的问题，结合对 Yb:YAG 材料与 Cr,Yb:YAG 晶体的光学性能分析和连续激光性能的研究，首次提出了利用 Yb:YAG 材料强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器激光性能的研究构想，并通过激光二极管泵浦的 Yb:YAG/Cr,Yb:YAG 复合结构激光实验进行了详细的研究。系统地研究了工作物质材料、输出耦合镜透过率、腔长和吸收泵浦光功率对 Yb:YAG/Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光特性（平均输出功率、脉冲宽度、脉冲重复频率、脉冲能量、峰值功率以及输出激光光谱）的影响。

采用 940 nm 激光二极管作为泵浦源，在输出耦合镜透过率为 50% 时，Yb:YAG 晶体强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器获得了高效的脉冲激光输出，斜率效率高达 25%。当吸收 5.4 W 泵浦光时，获得了最高 1 W 的平均功率输出，光-光转换效率为 18.5%。在吸收泵浦光功率为 4.48 W 时，输出激光脉冲的宽度（FWHM）为 25.4 ns，脉冲重复频率为 28 kHz，脉冲能量和峰值功率分别为 36.4 μJ 和 1.43 kW。

Yb:YAG 透明陶瓷强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器在输出耦合镜透过率为 20% 时获得了高效的脉冲激光输出，吸收泵浦功率为 4.48 W 时获得最高为 0.68 W 的平均输出功率，相应的光-光转换效率为 15.2%。在相同输出耦合镜透过率  $T_{OC}=20\%$  的情况下，Yb:YAG 陶瓷强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器相比 Yb:YAG 晶体强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器具有更高的效率和更好的脉冲特性。采用 Yb:YAG 陶瓷和晶体作为工作物质吸收主要的泵浦光时，强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器的斜率效率分别为 20% 和 14%；脉冲重复频率随吸收泵浦光的生长速率分别为 12.7 kHz/W 和 9.5 kHz/W；吸收泵浦功率为 4.48 W 时，脉冲宽度分别

为 21 ns 和 26 ns; 脉冲能量分别为 15  $\mu\text{J}$  和 10  $\mu\text{J}$ ; 脉冲峰值功率分别为 0.76 kW 和 0.37 kW。

关键词: Cr,Yb:YAG; 自调 Q 激光器; Yb:YAG 晶体和陶瓷

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Abstract

Laser-diode (LD) pumped passively Q-switched solid-state lasers are highly efficient, stable and compact lasers with short pulse width, high peak power as well as high repetition rate, and have potential applications in laser processing, laser ignition, LIDAR, efficient nonlinear conversion, and so on. In this thesis, progress of laser-diode pumped passively Q-switched solid-state lasers is firstly introduced, together with the history of development of laser-diode pumped solid-state lasers. Advantages and research progress of  $\text{Yb}^{3+}$ -doped materials used as laser media in passively Q-switched lasers are introduced. Achievements and problems in laser-diode pumped Cr,Yb:YAG self-Q-switched lasers are analyzed. Based on the research progress and experimental results on optical and continuous-wave laser properties of Yb:YAG and Cr,Yb:YAG materials, efficient laser-diode pumped self-Q-switched Cr,Yb:YAG lasers by bonding Yb:YAG crystal and ceramic to increase the absorption efficiency of pump power have been demonstrated for the first time to our best knowledge. The effects of laser materials, output coupler transmission, cavity length and absorbed pump power on laser characteristics including average output power, pulse width, repetition rate, pulse energy, peak power and laser spectra of Yb:YAG/Cr,Yb:YAG self-Q-switched lasers have been investigated in detail.

With 940 nm LD as pump source, the best laser performance of self-Q-switched Cr,Yb:YAG lasers by bonding Yb:YAG crystal was achieved with  $T_{OC}=50\%$ ; slope efficiency of 25% was measured. Maximum average output power of 1 W was obtained with  $T_{OC}=50\%$  at absorbed pump power of 5.4 W, corresponding optical-to-optical efficiency of 18.5% was obtained with respect to the absorbed pump power. With  $T_{OC}=50\%$ , laser pulses with pulse width of 25.4 ns, pulse energy of 36.4  $\mu\text{J}$  were obtained at absorbed pump power of 4.48 W, and corresponding peak power of 1.43 kW with absorbed pump power of 4.48 W were achieved.

Best laser performance of self-Q-switched Cr,Yb:YAG lasers by bonding Yb:YAG ceramic was achieved with  $T_{OC}=20\%$ . Average output power of 0.68 W was obtained with  $T_{OC}=20\%$  at absorbed pump power of 4.48 W, corresponding

optical-to-optical efficiency of 15.2% was obtained with respect to the absorbed pump power. For the same  $T_{OC}=20\%$ , the laser performance of Cr,Yb:YAG self-Q-switched lasers by bonding Yb:YAG ceramic is better than that by bonding Yb:YAG crystal. The slope efficiencies of Cr,Yb:YAG self-Q-switched lasers by bonding Yb:YAG ceramic and crystal are 20% and 14% respectively; ratios of repetition rate increasing with absorbed pump power are 12.7 kHz/W and 9.5 kHz/W respectively. With absorbed pump power of 4.48 W, pulse widths are 21 ns and 26 ns respectively for Cr,Yb:YAG self-Q-switched lasers by bonding Yb:YAG ceramic and crystal; pulse energies are 15  $\mu\text{J}$  and 10  $\mu\text{J}$ , corresponding peak powers of 0.7 kW and 0.37 kW respectively.

Key words: Cr,Yb:YAG; self-Q-switched laser; Yb:YAG crystal and ceramic



# 目录

摘要.....	I
第一章 绪论.....	1
1.1 课题背景及应用前景.....	1
1.2 激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器发展概述.....	4
1.3 掺 Yb <sup>3+</sup> 离子材料被动调 Q 激光器的研究进展.....	12
1.4 本论文的研究思路与研究内容.....	21
第二章 掺 Yb <sup>3+</sup> 离子激光工作物质光学、激光性能研究.....	23
2.1 光学性能.....	23
2.2 Yb:YAG 材料连续激光性能研究.....	26
2.3 本章小结.....	32
第三章 实验设计及实验装置.....	33
3.1 Yb:YAG 强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器的构想与原理.....	33
3.2 实验装置、材料与设备.....	34
第四章 Yb:YAG 晶体强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器.....	37
4.1 Yb:YAG 晶体强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器的实验结果分析.....	37
4.2 强化自调 Q 激光器与 Yb:YAG/Cr,Yb:YAG 被动调 Q 激光器性能对比.....	46
4.3 本章小结.....	52
第五章 Yb:YAG 陶瓷强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器.....	55
5.1 Yb:YAG 陶瓷强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器实验结果讨论.....	55
5.2 Yb:YAG 陶瓷与晶体强化 Cr,Yb:YAG 自调 Q 激光器实验结果对比讨论.....	61
5.3 本章小结.....	66
第六章 结论与展望.....	67
6.1 主要结论.....	67
6.2 存在的不足和有待进一步开展的工作.....	70
参考文献.....	71
攻读硕士学位期间发表论文.....	77
攻读硕士学位期间申请发明专利.....	78
致谢.....	79

# Contents

<b>Abstract .....</b>	<b>I</b>
<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Background and application prospects.....	1
1.2 Overview of passively Q-switched LDPSSL .....	4
1.3 Development of passively Q-switched Yb <sup>3+</sup> -doped materials LDPSSL.....	12
1.4 Research intent and main contents of this thesis.....	21
<b>Chapter 2 Optical and Laser Properties of Yb<sup>3+</sup>-doped Materials.....</b>	<b>23</b>
2.1 Optical properties of Yb <sup>3+</sup> -doped materials.....	23
2.2 Study on laser performances of CW Yb:YAG lasers .....	26
2.3 Summary of this chapter .....	32
<b>Chapter 3 Design of Experiments and Experimental setup.....</b>	<b>33</b>
3.1 Thoery of enhancement of self-Q-switched Cr,Yb:YAG laser by bonding Yb:YAG .....	33
3.2 Experimental setup.....	34
<b>Chapter 4 Study on Self-Q-switched Cr,Yb:YAG Lasers by bonding Yb:YAG Crystal.....</b>	<b>37</b>
4.1 Experimental results and discussion.....	37
4.2 Comparative study on crystal Yb:YAG /Cr,Yb:YAG Self-Q-switched laser and Yb:YAG/Cr,Yb:YAG passively Q-switched lasers.....	46
4.3 Summary of this chapter .....	52
<b>Chapter 5 Study on Self-Q-switched Cr,Yb:YAG Lasers by bonding Yb:YAG Ceramic.....</b>	<b>55</b>
5.1 Experimental results and discussion .....	55
5.2 Comparative study on self-Q-switched Cr,Yb:YAG lasers by bonding Yb:YAG crystal and ceramic .....	61
5.3 Summary of this chapter .....	66
<b>Chapter 6 Conclusions and Prospects.....</b>	<b>67</b>
6.1 Main conclusions .....	67
6.2 Deficiencies and further work to be developed.....	70
<b>References .....</b>	<b>71</b>
<b>Papers published and Patent Applied during Master Education.....</b>	<b>77</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>79</b>

## 第一章 绪论

激光技术是 20 世纪最重要的科技成就之一。自 1960 年第一台红宝石激光器的发明以来, 激光科学和技术迅猛发展, 对几乎整个科技领域的发展和社会进步起到了重大的推动作用。目前激光技术已经渗透到科学研究、工业应用、医疗卫生等各个领域。固体激光器是研究最早的一类激光器。进入八十年代, 随着激光二极管技术的重大突破和各种新型固体激光材料的成功研究, 固体激光技术成为当今激光研究领域的热门。这种技术使得激光器朝着全固态、高效率、小型化和多功能的方向发展<sup>[1]</sup>, 其应用市场在工业、军事、医疗和环境等领域也不断地开拓, 成为当前国际激光技术发展的重要方向之一。

### 1.1 课题背景及应用前景

相比于主动调 Q 激光技术, 激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器是一种可以实现短脉冲 (ns 到 ps 量级)、高峰值功率 (kW 到 MW 量级)、高重复频率 (kHz 以上) 脉冲激光输出的全固态微型激光器<sup>[2-3]</sup>, 具有效率高、小型化、性能稳定和寿命长等优点, 在非线性研究、机械加工、激光测距、污染监测、激光通信、激光临床治疗、激光雷达和激光点火等方面有着广泛的应用潜力和前景<sup>[4-6]</sup>。本节具体介绍了激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器的几个重要应用领域。

#### 1.1.1 非线性研究

全固态激光技术把激光二极管、固体激光材料与非线性倍频材料紧凑地结合在一起, 成为获得高效率、长寿命、高功率和高光束质量激光输出的重要途径。随着新型非线性光学材料的出现和非线性光学技术的不断发展, 全固态激光器的输出波长覆盖了从紫外到红外波段, 且输出功率在不断提高。利用被动调 Q 激光技术获得的高峰值功率激光作为光源可以进一步扩展输出波段、提高光束质量和转换效率, 是目前该领域的研究热点。激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器产生的高峰值功率强度, 可以保证高效的可见光及紫外光频率转换。

高功率紫外激光器可以用在如下领域：光致电离光谱学（Photoionization spectroscopy）<sup>[7]</sup>、基质辅助激光解吸附/离子化（Matrix-assisted laser desorption/ionization, MALDI）<sup>[8]</sup>、立体光固化技术（Sterolithography, STL）<sup>[9]</sup>以及污染检测（NO<sub>x</sub><sup>[10]</sup>和 SO<sub>x</sub>）等。深紫外激光系统可用于准分子激光器的光学元件的准直和校准。另外将高峰值功率的被动调 Q 脉冲激光耦合进单模光纤<sup>[11]</sup>或者光子晶体光纤<sup>[12]</sup>，可以产生高效的级联受激拉曼散射和其它非线性光学效应，从而产生带宽很宽的超连续谱光源。这种宽带超连续谱光源可应用于研究吸收、发射、激发光谱学，也可以用于研制光谱光声显微镜<sup>[12]</sup>、主动三维超光谱成像仪和白光干涉仪。

### 1.1.2 激光雷达

激光雷达<sup>[13]</sup>是现代激光技术与传统雷达技术的完美结合，它以激光束作为信息的载体，不仅可以精准测速、精确跟踪，而且由于激光雷达辐射源的频率在光频段，因此它能够探测到较为微小的目标。经过多年的努力，已经在激光制导雷达、激光成像雷达、激光跟踪雷达、多普勒激光测速雷达、激光障碍回避雷达、激光气象雷达等方面取得了可喜的成果。激光雷达的主要优点是：激光的方向性好，波束的发散角很小，分辨力极高。微波雷达的波束发散角通常在一度左右，最好的也只有几十分之一度，而激光束的发散角约为千分之一度甚至更小。因此，使用激光雷达，在太空中从同样的高度照射地面时，可以获得较高的分辨率。

激光成像雷达系统对光源提出了较高要求：为了实现成像，要有足够高的成像速率，为此需要较高的工作频率；为了保证探测灵敏度、距离分辨率，要求窄的脉冲宽度；为了保证足够的成像距离，要求较高的单脉冲能量和峰值功率。激光二极管泵浦被动调 Q 固体激光器具有体积小、重复频率高、输出功率大等特点，非常适合作为激光成像雷达的光源。激光光束经过目标反射后进入接收系统，回波信号携带了目标信息，包括空间位置信息、目标外部特征。激光成像雷达必须能够实时提供目标的距离、速度和强度图像，从而保证能够精确测距、测速、测角及角速度，因此光源的稳定性水平直接影响整个成像系统的性能。激光成像雷达的作用距离由脉冲能量、脉冲宽度、光束发散角、大气

衰减、目标反射率和接收机灵敏度等因素决定。因此为了研制高性能军用激光雷达，迫切要求我们研究高重复频率、紧凑型的脉冲固体激光器。

### 1.1.3 激光点火

为了满足越来越严格的排放标准和节能要求，激光点火已经是国内外科学家和工程师不懈努力的一个研究方向。早在 1960 年激光器发明之后就提出了利用激光点燃气缸内的燃油空气混合气的想法。激光点火是利用激光的高能量特性将可燃混合气点燃。激光点火的具体工作原理是在激光束燃烧点处由于电离将产生等离子体，等离子体中心区域温度超过  $10000^{\circ}\text{C}$  绝对温度。激光点火所产生的高温以及由等离子区中心以超音速向四周扩散的压力波将气缸内的混合气体点燃，大大提高点火的可靠性和稳定性。激光火花塞可根据需要将产生极高温的等离子体的激光光束聚焦点设置到气缸内的任意位置，从而实现对燃烧过程的最优化控制，提高发动机的功率、降低耗油量和有害废气物质排放量。而且激光火花塞还能毫不费力地点燃稀薄的燃油空气混合气，这就能完全避免因混合气稀薄或传统火花塞点火能量过低而不能有效点火的高速失火故障<sup>[5]</sup>。要达到满足激光点火要求的空气击穿（gas breakdown）的聚焦激光强度需要  $10^{12} \text{ W/cm}^2$ ，因而要求用于激光点火的激光器产生 MW 级以上的峰值功率，激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器可以提供这样的高峰值功率脉冲激光输出。



图 1.1 被动调 Q 微型激光火花塞模型与电火花塞的照片<sup>[14]</sup>

目前国际上一些汽车公司及科研院所已经开展了利用高峰值功率被动调 Q 固体微片激光器进行激光点火的前沿应用研究。日本已经初步研制出 Nd:YAG/Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 固体微型激光器用于激光点火的雏形,利用准连续激光二极管作为泵浦源, Nd:YAG/Cr<sup>4+</sup>:YAG 作为工作物质获得了峰值功率大于 2 MW 的激光输出,输出的脉冲激光经聚焦后获得的激光功率密度在 100 GW/cm<sup>2</sup> 以上,能够实现空气击穿。并且由于采用了 Nd:YAG/Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 固体激光器的微片结构,该激光器的体积可以做到与普通电火花点火装置相当的尺寸(如图 1.1 所示),为被动调 Q 微片激光器在激光点火的应用中奠定了实验基础,具有重要的意义和研究前景<sup>[14]</sup>。澳大利亚的研究人员也成功进行了用于激光点火的被动调 Q 激光实验,并对比了激光烧蚀点火与激光等离子体点火的区别,后者因为其在气缸中可以选择任意位置点火等显著优点被证明为较好选择<sup>[5, 15]</sup>。

## 1.2 激光二极管泵浦的被动调 Q 固体激光器发展概述

激光器中三个导致增益的主要因素<sup>[16]</sup>是:

- 1) 泵浦源——具有特殊几何结构、光谱发射和时间特性。
- 2) 基质材料——具有宏观机械、热学和光学特性及独特的微观晶格特性。
- 3) 激活离子——具有独特的电荷状态和自由电子结构,有利于产生激光跃迁的能级结构。

这些因素相互影响,因此为了得到所需的激光系统的性能,需要使所选的各因素相互匹配。

### 1.2.1 泵浦光源——激光二极管

固体激光器最有效的泵浦源是激光二极管(Laser Diode, LD),即半导体激光器。激光二极管泵浦的固体激光器(Laser Diode Pumped Solid-State Laser, LDPSSL)最早起源于20世纪60年代。1964年,美国MIT的林肯实验室制成了世界上第一台LDPSSL。早期的激光二极管泵浦源输出功率低,稳定性差,寿命短,且需在液氦温度下方可连续运转,因此LDPSSL未引起人们的充分重视。进入20世纪80年代后,由于分子束外延(Molecular Beam Epitaxy, MBE)、金

属有机物化学气相淀积 (Metal-organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD) 和化学束外延 (Chemical Beam Epitaxy, CBE) 等生长工艺的发展和成熟, 再加上采用量子阱 (Quantum Well, QW) 和应变层量子阱 (Strained Layer Quantum Well, SLQW) 等新结构, 使得单个激光二极管的阈值电流大大降低, 转换效率大幅度提高, 输出功率成数十倍增长, 使用寿命大大延长, 室温下的发射波长也得到很大的拓宽。随着激光二极管及其阵列 LDA (Laser Diode Array) 的迅速发展, 使停滞多年的固体激光器出现了勃勃生机, 各国掀起了 LDPSSL 的研究热潮。进入九十年代, InGaAs 激光二极管的制备工艺日趋完善, 随之成本大幅降低, 引起了人们的广泛研究和重视, 已有许多研究成果实现了商品化, 具有巨大的应用前景。在过去的十几年中, LDPSSL 得到了迅猛发展, 它兼并了激光二极管和固体激光器各自的优点, 不仅能够完成传统固体激光器的各种功能, 而且还在光束质量、稳定性、可靠性等方面实现了较大程度的改善。

LDPSSL 与传统闪光灯泵浦的固体激光器相比具有以下优点<sup>[17-18]</sup>:

- 1) 提高了泵浦效率。与闪光灯的宽发射带相比, LD 的窄发射带与激光介质的吸收带很好地匹配, 加之泵浦光模式可以很好地与激光振荡模式相匹配, 因此泵浦效率很高, 比灯泵固体激光器高出一个量级。
- 2) 延长了激光元件的寿命。LD 的系统寿命和可靠性都优于闪光灯。闪光灯的寿命只有 300~1000 小时; 而激光二极管的寿命可达 15000 小时以上。运行寿命的大大提高使 LDPSSL 在军事、工业和医学等领域的应用中降低了更新和维护的成本。
- 3) 功率稳定、性能可靠。LD 做泵浦源大大减少了热噪声和机械噪声, 又因其本身泵浦能量稳定性好, 比闪光灯泵浦提高了一个量级, 输出功率抖动小于 1%, 可制成全固化器件。
- 4) 输出光束质量好。灯泵的大部分功率转化成了热能, 造成热透镜效应, 激光光束质量差。而 LD 泵浦的高转换效率降低了热透镜效应, 进而改善了固体激光器的光束质量。此外, LD 辐射的方向性, 使得有可能设计出泵浦辐射与低阶模之间存在良好光场交叠的谐振腔, 进而产生高亮度的激光输出。
- 5) 增大了脉冲重复率。准连续激光二极管除了具有闪光灯和连续弧光灯的低重复率和连续运转特性外, 还能够允许固体激光器在几百赫兹到几千赫兹的重

复率范围内产生脉冲运转。

- 6) 实现了激光系统的紧凑性和多功能性。LD输出光束的方向性好和发射角小的优点,使得设计新型固体激光器成为可能。LDPSSL可以有多种腔结构形式,既可以采用侧面泵浦的方式也可采用端面泵浦方式,增益介质可以是薄片、棒状、条状,也可是光纤、波导等形式。LDPSSL为全固态激光器件的研制提供了灵活性和可操作性,使得激光器件结构紧凑,容易实现激光器件的小型化和集成化。
- 7) 有利于新型激光材料的研发和应用。激光二极管波长的可调谐和多样性为许多新材料在固体激光领域的应用提供了可能性。

这些优点使得LDPSSL在多个应用领域中成为首选激光器,成为激光器发展的主流方向,具有巨大的应用前景。

### 1.2.2 被动调 Q 理论与 Q 开关的选择

调 Q 技术<sup>[13, 16, 19]</sup>的出现是激光发展史上的一个重要突破。在激光测距、激光雷达、激光制导和激光加工等应用领域中,都要求激光器能输出高功率的激光脉冲。为了使输出峰值功率达到千瓦乃至兆瓦量级,必须使激光器辐射的能量集中在很短的一个时间间隔内释放,调 Q 技术就是为适应这种需要而发展起来的。其中,品质因数 Q 是用来描述激光谐振腔质量的,可以用如下表达式来表示:

$$Q = 2\pi\nu_0 \frac{\text{腔内贮存的激光能量}}{\text{每秒损耗的激光能量}} = 2\pi\nu_0 \frac{E}{Ed/t} = 2\pi\nu_0 \frac{E}{Edc/hL} = \frac{2\pi hL}{dl_0} \quad (1-1)$$

式中

$\nu_0$ ——激光中心频率;

$E$ ——腔内贮存的激光能量;

$\delta$ ——单程能量损耗率;

$t$ ——单程传输时间,  $t = \eta L / c$ ;

$\eta$ ——腔内介质折射率;

$L$ ——谐振腔腔长;

$c$ ——光速;



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库