

文章编号: 0258-7025(2007)08-1059-05

一种用于激光二极管阵列快慢轴 同时准直的新型准直器

张帆, 王春灿, 耿蕊, 宁提纲, 简水生

(北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要 利用光学软件 ZEMAX 优化设计并实际制作了一种可用于激光二极管阵列(LDA)快慢轴同时准直的新型准直器件,这种准直器利用三维精密调节系统对 D 型光纤的侧面进行刻蚀,在 D 型光纤的纵向上形成一个微型柱透镜阵列,其折射率与光纤折射率相同。利用这个微型柱透镜阵列对激光二极管阵列的慢轴进行准直,同时利用 D 型光纤横向上 D 型结构对激光二极管阵列的快轴进行准直。准直后的光束发散角为 $1.82 \text{ mrad} \times 10.4 \text{ mrad}$,功率损失在 10% 以下。

关键词 光学器件;激光二极管阵列;光学设计;准直器

中图分类号 TN 253 **文献标识码** A

Novel Collimator for Simultaneous Collimation of Fast and Slow Axis of Laser Diodes Array

ZHANG Fan, WANG Chun-can, GENG Rui, NING Ti-gang, JIAN Shui-sheng

(Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract A novel collimator for collimating the fast and slow axis of laser diodes array (LDA) simultaneously is designed optimized by ZEMAX and also fabricated by using a precise three-dimensional control actuator to erode the side of a D-type fiber. This collimator consists of a D-type fiber with a series of longitudinal cylindrical lens array which has the same refractivity as fiber and acts as the slow axis collimator for LDA. Meanwhile, the D-type fiber is also able to collimate the fast axis of LDA with its transverse D-type structure. Experimental results show that the angles of divergence of fast and slow axis are 1.82 mrad and 10.4 mrad respectively after collimation. The power loss is less than 10%.

Key words optical devices; laser diodes array; optical design; collimator

1 引言

大功率激光二极管阵列(LDA)以及激光二极管叠阵(LDS)是目前制作大功率固体激光器和光纤激光器的主要抽运源^[1~8]。它们由多个发光区集成在一起,每个发光区都能发射高达 $1 \sim 2 \text{ W}$ 的功率,具有较高的电光转换效率($40\% \sim 50\%$),但由于半导体的有源区较宽也使得这种高功率半导体激光器

具有很大的发散角,一般激光二极管阵列的快轴方向有近 40° 左右的发散角而慢轴方向也有 10° 左右,并且输出的光束不仅有较大的像散,而且光束形状极不对称,光束质量很差。所以在被用作制作大功率固体激光器和光纤激光器的抽运源之前通常要对其进行快慢轴准直以及光束整形^[9~13]。

激光二极管阵列的快慢轴准直中一般均采用柱透镜和微柱透镜阵列对快慢轴分别进行准直,因此

收稿日期:2007-02-05;收到修改稿日期:2007-04-12

基金项目:北京市自然科学基金(4052023),新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0076)和北京交通大学校科技基金(2006XM003)资助项目。

作者简介:张帆(1981—),男,湖北人,博士研究生,主要从事激光器和光放大器的研究。E-mail:04111016@bjtu.edu.cn

导师简介:简水生(1929—),男,江西人,中国科学院院士,教授,博士生导师,目前研究方向为光纤通信、光纤传感、光纤有源无源器件、光纤网。E-mail:ssjian@center.bjtu.edu.cn

柱透镜和微柱透镜阵列之间的相对位置的校准和固定需要十分精确,容差度很小并且微柱透镜阵列的制作工艺复杂,价格昂贵^[12,13]。目前,国内外报道的整形方法主要有:1) 双平面反射镜法^[14],这种方法对两个平面镜的相对位置的调节要求十分严格,而且功率损耗较大;2) 多棱镜阵列法^[15],这种方法是通过多个棱镜的折射、分割对光束进行重排和整合,因此需要制作多重棱镜,制作工艺十分复杂;3) 衍射微透镜法^[13],这种方法虽然也是利用微透镜对快慢轴进行准直,但是由于是分别对快慢轴进行准直,所以用于慢轴准直的微透镜阵列与用于快轴准直的柱透镜之间的相对位置不易调节。因此,这些整形方法都存在器件加工困难或不易校对装调等问题。本文提出了一种结合了快轴准直和慢轴准直两种功能的激光二极管阵列准直器,能够对激光二极管阵列的快慢轴同时进行准直,并且利用光学软件 ZEMAX 对其进行光路模拟和参数优化,最后根据优化的结果,利用三维精密调节平台和一个具有一定弧度和角度的金刚石磨具制作出来。

2 工作原理及 ZEMAX 光路模拟

图 1 为纵向侧面上刻有一列弧形槽的 D 型光纤。这种准直器是利用三维精密调节平台和一个具有一定弧度和角度的金刚石磨具在一根 D 型光纤的纵向侧面上刻蚀一系列与激光二极管阵列慢轴方向长度一致的弧形槽。



图 1 纵向侧面上刻有一列弧形槽的 D 型光纤
Fig. 1 D-type fiber with a series of longitudinal arc grooves on its side

弧形槽的弧形面所起的作用和微型柱透镜类似,可以对激光二极管阵列的每一个发光区的慢轴发散角分别进行准直。如图 2 所示,D 型光纤本身所具有的 D 型横截面结构也可以作为一个准直激光二极管阵列快轴的普通柱透镜(图 2(a)),而在 D 型光纤的纵向侧面上刻蚀的一系列弧形面中的每一个弧面都是对应激光二极管阵列的每一个发光区的慢轴准直微透镜(图 2(b))。

图 2(b)模拟了一个包含九个发光区的激光二

极管阵列,每个发光区间距为 $200\ \mu\text{m}$,慢轴方向的总长度为 $2\ \text{mm}$,并设置它的快轴发散角为 40° ,慢轴发散角为 10° ,准直器距离激光二极管阵列的发光区 $50\ \mu\text{m}$,最后的探测接受面距离准直器 $30\ \text{cm}$ 。ZEMAX 进行模拟和优化计算时所包含的光线数为 100000 条。根据 ZEMAX 的模拟与优化,准直器在激光二极管阵列的快慢轴方向上的半径 R 均为 $170\ \mu\text{m}$,中心厚度为 $400\ \mu\text{m}$ 。其折射率 n 与 D 型光纤的折射率一致,均为 1.45 。最后经过 ZEMAX 计算得到如图 3 所示的准直后激光二极管阵列的输出光斑形状与输出功率 P 。

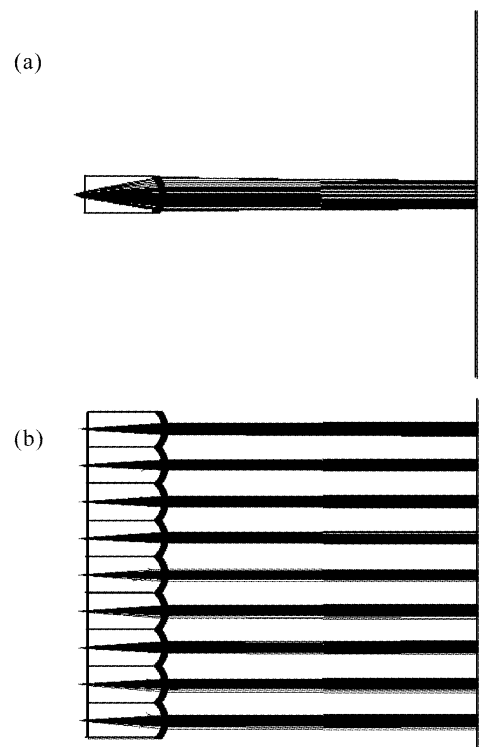


图 2 ZEMAX 模拟的快轴(a)和慢轴(b)方向被 D 型光纤准直后的光路

Fig. 2 ZEMAX ray tracing of LDA's fast axis (a) and slow axis (b) collimation by using a novel collimator

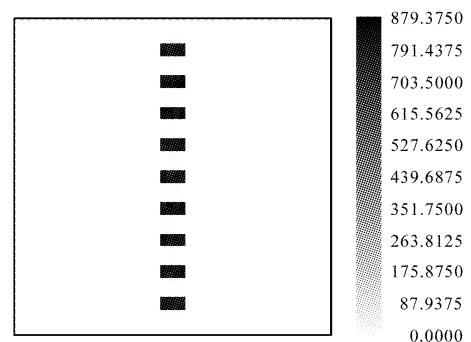


图 3 具有九个发光区的激光二极管阵列的快慢轴被准直器准直后输出的光斑形状和功率比例

Fig. 3 Output beam spot and power percent of LDA with nine emitters after fast and slow axis collimation

这里只模拟了九个发光区的情况,对于更多的发光区,最后的结果是相似的,只是慢轴方向上光斑尺寸的区别。由图 3 可见,每个发光区都对应一个大小为 $80\ \mu\text{m} \times 160\ \mu\text{m}$ 的长方形小光斑,这是准直并传播 30 cm 后的光斑大小。模拟结果表明,准直后的快慢轴发散角分别为 $1.74\ \text{mrad}$ 和 $8.72\ \text{mrad}$,而且光束的输出功率为输入单位总功率的 95.3% 。在此基础上,只需要利用长方体棱镜将各个发光区对应的小光斑进行位置的上下平移,将其重叠成为一个 $80\ \mu\text{m} \times 160\ \mu\text{m}$ 的光斑即可,如图 4 所示。

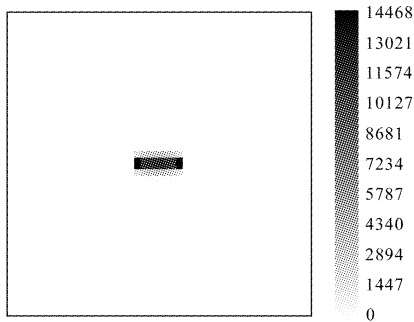


图 4 各个发光区准直后的光斑被长方体棱镜上下平移位置后,非相干叠加后的光斑大小

Fig. 4 Output beam spot by incoherent superposition after every collimated beam corresponding to every emitter was shifted by cuboid lens

3 制作方法与实验结果

根据 ZEMAX 模拟优化的结果,在制作 D 型光纤时,首先制作一根直径 $d = 10\ \text{mm}$ 的圆形预制棒,然后将其等半切割开来,与一根长为 10 mm,宽为 7 mm 的长方体石英棒高温烧融成为一体,最后在拉丝塔上按等比例变化进行拉丝,得到中心厚度 $h = 400\ \mu\text{m}$,半径 $R = 170\ \mu\text{m}$ 的 D 型光纤。将得到的 D 型光纤放置在一个精密的三维调节传动平台上,利用设计的具有一定弧度和角度的金刚石磨具,在这根 D 型光纤的纵向侧面上刻蚀一系列与激光二极管阵列慢轴方向长度一致的弧形面,其中每个弧形面的半径也控制在 $170\ \mu\text{m}$ 左右。

图 5 和 6 分别是在 D 型光纤的纵向侧面上实际刻蚀的单个弧形面和多个弧形面,它们的实际半径为 $190\ \mu\text{m}$ 左右。与优化值 $170\ \mu\text{m}$ 有 $15 \sim 20\ \mu\text{m}$ 的误差,是由于实际刻蚀过程中,利用三维调节传动平台确定初始的刻蚀点时,无法精确地控制到金刚石磨具的刀口与 D 型光纤的纵向侧面相切,所以在初始刻蚀点金刚石磨具的刀口与 D 型光纤的纵向侧面之间难免会存在 $4 \sim 5\ \mu\text{m}$ 左右的空隙,这个空

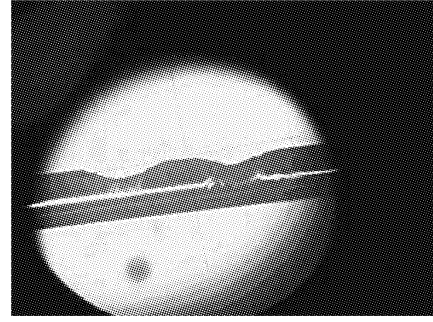


图 5 D 型光纤的纵向侧面上实际刻蚀的单个弧形面的显微镜示图

Fig. 5 Micrograph of single arc groove etched on longitudinal lateral surface of D-type fiber

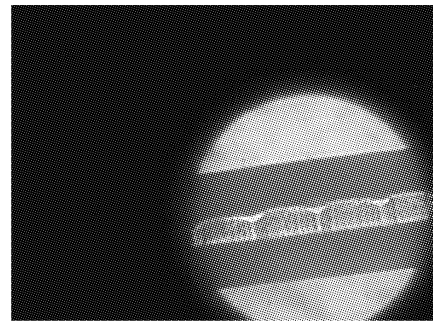


图 6 D 型光纤的纵向侧面上实际刻蚀的多个弧形面的显微镜示图

Fig. 6 Micrograph of multi-arc-groove etched on longitudinal lateral surface of D-type fiber

隙导致最后实际刻蚀出来的弧面的半径比 ZEMAX 优化的结果略微偏大一些。

实验中所用的激光二极管阵列的出射功率为 60 W,共有 49 个发光区,每个发光区的间距为 $200\ \mu\text{m}$ 。快轴宽度为 $1\ \mu\text{m}$,发散角为 40° ;慢轴总长度为 1 cm,发散角为 10° 。经过如图 6 中所示的由 D 型光纤纵向侧面刻槽所制成的准直器准直后,在距离准直器 30 cm 处用 Spiricon 公司的 LBC 型光斑分析仪对输出光束的形状大小和光强分布进行探测和测量,得到一个如图 7 中所示的长条形光斑。

由图 7 可以看出,由于实际制作时光纤纵向的弧面的半径以及槽深都存在一定的偏差,所以在慢轴方向上各个发光区准直后的光斑并不像 ZEMAX 中模拟的那样间隔十分明显,而是相互有些许重叠,这使得最后慢轴方向上光斑的尺寸比模拟结果要小一些,而相应的发散角则要比模拟结果大一些;在快轴方向上,因为 D 型光纤横向的半径 R 在拉丝过程中可以控制得比较精确,所以准直后的光斑大小为 $78\ \mu\text{m}$,与 ZEMAX 模拟的 $80\ \mu\text{m}$ 十分接近。最后利用长方体棱镜将各个发光区对应的小光斑进行位

置的上下平移,将其重叠成为一个小光斑,最后的小光斑的光束发散角约为 1.82 mrad(快轴)和 10.4 mrad(慢轴)。

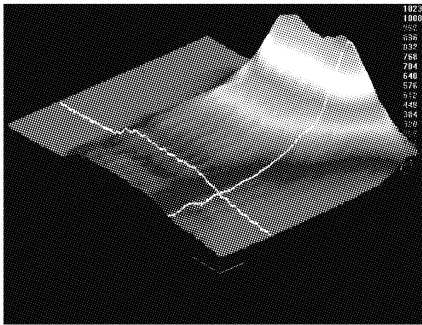


图 7 激光二极管阵列经准直器准直后,在距离准直器 30 cm 处测量所得的光斑形状和大小

Fig. 7 Beam spot and size of laser beam at $z = 30$ cm after collimation

(z is the distance between the collimator and CCD)

4 制作误差分析

图 8 为制作误差分析示意图。 R 表示所刻弧面对应的半径, h 表示金刚石刀片刻蚀的槽深, d 对应各个发光区的间距(也是三维调节传动平台每次控制金刚石刀具横向移动的距离),为已知常量 $200 \mu\text{m}$ 。通过计算可知,当弧面半径 R 要求为 $170 \mu\text{m}$ 时,对应所需刻蚀的槽深 h 为 $32.5 \mu\text{m}$ 。由于实际刻蚀过程中,利用三维调节传动平台确定初始的刻蚀点时,无法精确地控制到金刚石磨具的刀口与 D 型光纤的纵向侧面相切,所以在初始刻蚀点金刚石磨具的刀口与 D 型光纤的纵向侧面之间难免会存一定的空隙,即所刻出的槽深 h 会偏小。设初始位置的空隙大小为 δh ,则有

$$\sqrt{R^2 - [R - (32.5 - \delta h)]^2} = d/2, \quad (1)$$

式中 $h = 32.5 \mu\text{m}$ 为预期要刻的槽深, $(32.5 - \delta h)$ 为实际刻的槽深,单位 μm 。由(1)式可得实际所得弧面的半径 R 与初始位置误差 δh 之间的对应关系,如图 9 所示。

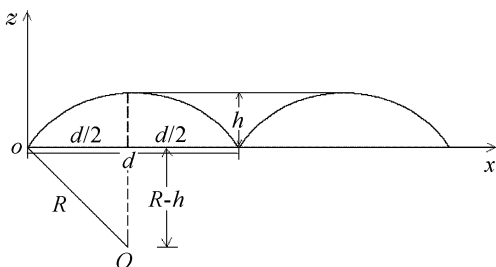


图 8 制作误差分析示意图

Fig. 8 Sketch of fabrication error analysis

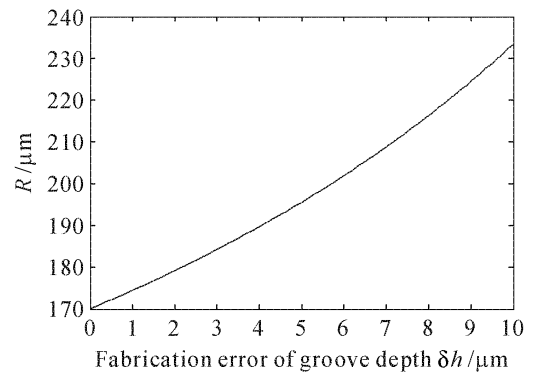


图 9 槽深的制作误差 δh 与最后实际刻蚀出来的弧面的半径 R 的对应变化关系

Fig. 9 Relationship between the fabrication error of groove depth δh and the actual radius R of the arc groove etched on the side of D-type fiber

5 结 论

设计并制作了一种新型准直器件,可以同时准直激光二极管阵列的快轴和慢轴。这种准直器通过在半径合适的 D 型光纤的侧面刻蚀一系列半径一定的弧形面,将通常用于快轴准直的柱透镜和用于慢轴准直的微透镜阵列集成到一个光纤元件上,不仅有效地解决了准直透镜校准和固定难,容差度很小的问题,而且简化了制作工艺,降低了成本。最后的实验结果证明,这种准直器可以用于激光二极管阵列的快慢轴同时准直,准直后的光束发散角约为 $1.82 \text{ mrad} \times 10.4 \text{ mrad}$,功率损失在 10% 以下。

参 考 文 献

- Shi Peng, Li Xiaoli, Zhang Guifen *et al.*. Micro-prism stack beam shaper for high power laser diode array [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(11):1544~1547
- 石 鹏,李小莉,张贵芬等. 大功率激光二极管的微片棱镜堆光束整形和光纤耦合输出[J]. *光学学报*, 2000, **20**(11):1544~1547
- D. J. Rippin, L. Goldberg. High efficiency side-coupling of light into optical fibres using imbedded V-grooves [J]. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(25):2204~2205
- L. Goldberg, B. Cole, E. Snitsee *et al.*. V-groove side-pumped fibre amplifier [J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(25):2127~2129
- Jeffrey P. Koplow, Sean W. Moore, Dahv A. V. Kliner. A new method for side pumping of double-clad fiber sources [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2003, **39**(4):529~540
- Jianqiu Xu, Junhua Li, G Kumar *et al.*. A non-fused fiber coupler for side-pumping of double-clad fiber lasers [J]. *Opt. Commun.*, 2003, **220**(6):389~395
- R. Herda, A. Liem, B. Schnabel *et al.*. Efficient side-pumping of fibre lasers using binary gold diffraction gratings [J]. *Electron. Lett.*, 2003, **39**(3):276~277
- Zhang Fan, Wang Chuncan, Tong Zhi *et al.*. A new structure of gold diffraction grating for efficient side-coupling of double-cladding fiber laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11):1447

- ~1452
张帆,王春灿,童治等.一种新型有效的侧面抽运耦合技术[J].中国激光,2006,33(11):1447~1452
- 8 Zhou Chongxi, Liu Yinhui, Xie Weimin *et al.*. Analysis and design of fiber coupled high power laser diode array [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, 31(11):1296~1300
周崇喜,刘银辉,谢伟民等.大功率半导体激光器阵列光束光纤耦合研究[J].中国激光,2004,31(11):1296~1300
- 9 Frederick C. Way, Thomas A. Crow. Beam shaping laser diode array output for optical pumping and illumination [C]. *IEEE Aerospace Conf. Proc.*, 2000, 3:61~65
- 10 Satoshi Yamaguchi, Tetsuro Kobayashi, Yoshimasa Saito *et al.*. Collimation of emissions from a high-power multistripe laser-diode bar with multiprism array coupling and focusing to a small spot [J]. *Opt. Lett.*, 1995, 20(8):898~900
- 11 W. A. Clarkson, D. C. Hanna. Two mirror beam-shaping technique for high-power diode bars [J]. *Opt. Lett.*, 1996, 21(6):375~377
- 12 John G. Endriz, Mitral Vakili, Gerald S. Browder *et al.*. High power diode laser arrays [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, 28(4):952~965
- 13 James R. Leger, William C. Goltsov. Geometrical transformation of linear diode-laser arrays for longitudinal pumping of solid-state lasers [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, 28(4):1088~1100
- 14 W. A. Clarkson, D. C. Hanna. Two-mirror beam-shaping technique for high-power diode bars [J]. *Opt. Lett.*, 1996, 21(6):375~378
- 15 S. Yamaguchi. Collimation of emissions from a high-power multi-stripe laser-diode bar with multi-prism array coupling and focusing to a small spot [J]. *Opt. Lett.*, 1995, 20(8):898~891

第二届光学期刊合作与发展研讨会在上海召开

2007年6月28日下午,由中国光学学会主办、中国科学院上海光学精密机械研究所光学期刊联合编辑部承办的第二届光学期刊合作与发展研讨会在上海成功召开。来自中国光学学会的领导和全国各地16家光学期刊编辑部的代表共35人参加了此次会议,并就“网络化形势下的光学期刊发展与合作”展开探讨。中国光学学会副理事长、《光学学报》和 *Chinese Optics Letters* 主编徐至展院士、中国科学院上海光学精密机械研究所祝如荣副所长、中国光学学会秘书长倪国强教授、上海市科技期刊协会副理事长方国生编审、《中国激光》执行主编胡企铨研究员、*Chinese Optics Letters* 执行主编周常河研究员参加了会议。

会议由中国科学院上海光学精密机械研究所信息中心主任薛慧彬主持。徐至展副理事长、祝如荣副所长、倪国强秘书长、方国生副理事长对中国光学期刊近年来取得的成绩给予了大力的肯定,对中国科学院上海光学精密机械研究所光学期刊联合编辑部致力于集团化运作的做法给予了很高的评价。他们认为,在网络化时代,期刊的发展面临着新的机遇和挑战,会议以“网络化形势下的光学期刊发展与合作”为主题开展研讨,对推动期刊的进一步发展很有必要,并希望通过此次会议能够达成更多共识,共促光学期刊的发展。

徐至展副理事长强调说:“中国光学学会的一项重要工作是通过专业的出版物、学术会议和各种活动及其他服务,实现服务社会,传播光学知识的宗旨,因此,对光学期刊的发展一直很重视,学会专门成立了出版工作委员会指导期刊工作,我希望我们在保持自己特色的同时,要向国际先进刊物学习,比如美国光学学会的系列刊物,学习他们的办刊模式,努力消化吸收,争取把我国光学期刊在国际上享有更高的知名度。”

倪国强秘书长首先介绍了中国光学学会去年换届改选的情况。传达了中科院冯长根书记对学会工作的要求,冯长根书记希望国内的科技期刊能够通过整合发展,能够出现几本如 *Science* 和 *Nature* 的“旗舰式”的期刊,为中国的科技事业多作贡献。倪国强秘书长还介绍了今年的 SPIE Photonics Asia 大会和 2008 年将要举行的全国光学大会的筹备情况,并要求学会主办的期刊利用各自媒体,积极参与,

- 配合学会做好工作。

配合学会做好工作。

中国科学院上海光学精密机械研究所光学期刊联合编辑部主任杨蕾在研讨会上作了题为“试论中国光学科技期刊的发展与合作”的报告,就目前我国光学期刊的发展现状和趋势作了分析,结合国外相关行业协会的期刊发展经验,提出了中国光学期刊应该寻求联合发展,做大做强的发展模式的理念。《激光生物学报》常务编委苏锦文研究员代表编辑部作了题为“与时俱进,加强协作,共组光学期刊联合舰队”的报告,他在介绍了杂志的发展情况之后,发出倡议:以上海综合优势为依托,以光学期刊联合编辑部为龙头,加强协作,共同组建光学期刊联合舰队,以加速我国光学期刊的网络化、国际化步伐。《光子学报》编辑部主任郭娟、《应用光学》杂志副主编杨大军、《大气与环境光学学报》王晓梅编辑、《激光技术》蒋锐编辑、《光学与光电技术》蓝宁责任编辑分别介绍了各自杂志近几年的发展情况。

光学期刊联合编辑部段家喜编辑的“组建光学期刊广告、发行联盟,推动期刊市场化步伐”的报告引起了广大期刊编辑的热烈讨论,大家纷纷结合自身期刊的发展经验就期刊的发行、广告经营的合作办法提出建设性意见,达成诸多共识。中国光学期刊网网站主管郑继承工程师介绍了中国光学期刊网的发展,提出了一些发展中存在的困惑问题,光学期刊联合编辑部王晓峰编辑介绍了国外光学期刊的发展思路探索,希望对指导我国光学期刊的发展提供一些可行的发展方向。

