

文章编号: 1001-3806(2008)02-0166-05

## 激光焊接塑料的方法及发展现状

刘会霞,张惠中,季进清,王 霄,蔡 兰  
(江苏大学 机械工程学院,镇江 212013)

**摘要:** 首先阐述了激光焊接塑料的原理;其次介绍了几种激光焊接塑料的新方法、特点及应用对象,主要有轮廓焊接、同步焊接、准同步焊接、掩膜焊接、放射状焊接、Globo焊接和衍射焊接;最后论述了激光焊接塑料的发展现状及发展趋势。可以看出,目前研究主要集中于二维焊接,而三维焊接研究得较少。激光焊接塑料正成为激光焊接领域的一个热点,它将取代传统的塑料焊接方法。

**关键词:** 激光技术;激光焊接;焊接方法;塑料;透射焊接

**中图分类号:** TG456.7 **文献标识码:** A

### Methods and present status of laser welding of plastics

LIU Hui-xia, ZHANG Hui-zhong, JI Jin-qing, WANG Xiao, CAI Lan

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** First of all, the principle of laser welding of plastics is explained. Then, several new methods, characteristics and applications of laser welding of plastics are introduced, such as contour welding, simultaneous welding, quasi-simultaneous welding, mask welding, radial welding, Globo welding and diffractive welding. At last, present status and development trend of laser welding of plastics are summarized. It can be seen that the current study mainly focuses on two-dimension welding, while research on three-dimension welding is scarce. Laser welding of plastics is becoming a hot phenomenon in laser welding field. It might replace the traditional welding methods of plastics.

**Key words:** laser technique; laser welding; welding methods; plastic; transmission welding

### 引 言

激光焊接具有深度比大、热影响区小、表面成形好以及生产率高等优点<sup>[1]</sup>。随着激光焊接技术的发展,激光不仅可以用于焊接金属,也可以用于焊接塑料,而且其焊接塑料的应用领域也在不断扩大。激光塑料焊接技术在医学领域,可用于制造微流体器件、液体过滤器材、软管连接头和液体储槽等;在汽车工业中,可用于制造车灯、发动机传感器、液压油箱、燃油喷嘴和进气管歧管等;在光学和电子领域,可用于制造光学传感器、电子元件外壳和塑料生物芯片等;在服装工业中,可用于防水纤维的焊接;在包装领域,可用于塑料薄膜的焊接。由于应用领域及所焊接产品的形状及工艺要求的不同,因此需要一些新的方法用于塑料的激光焊接,笔者在此基础之上介绍了几种激光焊接塑料的新方法及其特点和应用对象,并对激光焊接塑料的

发展现状进行了研究。

### 1 激光焊接塑料的原理

激光焊接塑料的原理又称为激光透射焊接,其先决条件就是两零件之一能够透过激光,而另一个零件必须能吸收激光,如图 1 所示。大多数塑料能让充足

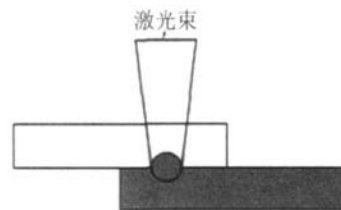


图 1 激光焊接塑料原理示意图

的激光透过。与之配合的另一零件,通过添加吸收性的材料,可以转化为能够吸收激光光束。在焊接开始前,连接零件互相接触,但不是处于其它焊接方法所需的外加压力下(焊接零件所需的压力由塑料熔液的热膨胀产生)<sup>[2]</sup>。在焊接过程中,将激光器产生的光束聚焦于待焊接区域,激光束透过一个零件,然后在两零件接触面(即焊接区域)被另一个零件吸收,形成热作用区;在热作用区(即两零件接触面)中的塑料被融化,热熔状态下的塑料大分子在焊接压力的作用下互相扩散,产

作者简介:刘会霞(1964-),女,教授,研究方向为激光加工、表面微细造型数值模拟和实验、逆向工程、数字化设计与制造技术。

E-mail: lhx@ujs.edu.cn

收稿日期:2007-01-10;收到修改稿日期:2007-02-08

生范德华力,从而紧密地连接在一起<sup>[3]</sup>,这样已熔化的材料形成接头,待焊接的部件即被连接起来。

## 2 激光焊接塑料的新方法

### 2.1 轮廓焊接

轮廓焊接是一种激光扫描焊接方法,如图 2 所示。

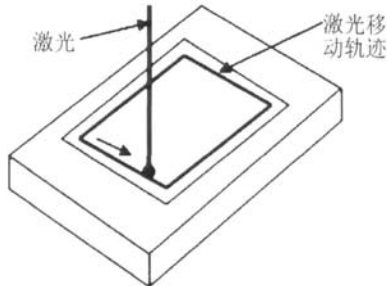


图 2 轮廓焊接原理示意图

在轮廓焊接中,一束激光投射到待焊接工件,然后激光束沿着待焊接区域的轮廓扫描一周,从而完成焊接。当然,在轮廓焊接中,也可以固定激光束不动,让待焊接的工件沿着预定轨迹运动来完成焊接或者让激光束和工件同时沿预定轨迹相对运动来完成焊接。轮廓焊接的热作用区一般较小,因为其宽度是由激光束光斑的尺寸决定的。轮廓焊接的加工时间较长,但灵活性好、自由度高,适合于任意复杂的二维焊缝,如传感器外壳等。上海市激光技术研究所研制了一种多维激光焊接塑料装置,该装置可以用于轮廓焊接,并且已经申请了专利<sup>[4]</sup>。

### 2.2 同步焊接

在同步焊接中,根据焊缝的几何形状调整激光束形状,使一束或多束激光同时投射到整个焊接区域,然后均匀地加热焊接区域,待塑料熔融体凝固后就完成了焊接,如图 3 所示。同步焊接具有加工时间短、激光

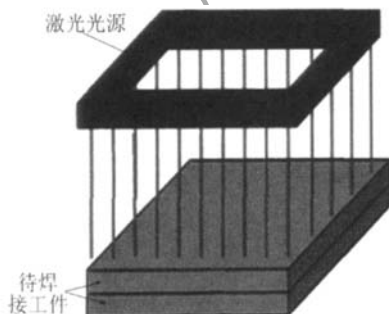


图 3 同步焊接原理示意图<sup>[5]</sup>

束与工件之间不需要作任何相对移动、热变形量小、适合大批量生产等优点,并且利用常规的光学整形元件几乎可以产生任何几何形状的激光束,所以,对于任何复杂的二维几何焊缝都可以利用同步焊接来完成。CHEN 等人应用同步焊接技术完全实现了塑料微射流设备的装配。其激光系统由带有掩膜和自动对准功能

的二极管激光器组成,二极管激光器的自动对准功能可以产生任意几何图形的激光束,从而完成同步焊接<sup>[6]</sup>。

### 2.3 准同步焊接

准同步焊接实际上也是一种激光扫描焊接方法,如图 4 所示。在准同步焊接中,一束激光投射到待焊

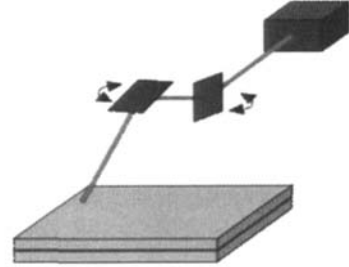


图 4 准同步焊接原理示意图<sup>[5]</sup>

接工件,然后激光束沿着待焊接区域的轮廓作高速扫描,每秒钟可以扫描数次,从而可以保证待焊接区域被有效加热,同时在焊接过程中对工件施加一定的压力,塑料熔融体凝固后就完成了焊接。准同步焊接中对于激光扫描速度、扫描圈数和激光强度的选择非常重要,这直接决定了最终的焊接强度和焊接质量。准同步焊接的灵活性好、自由度高,适合于较为简单的二维焊缝,如手机外壳、电子元件外壳等。POTENTE 等人利用准同步焊接方法,通过选择高性能的塑料 Peek 和不同的碳黑吸收剂研究了激光强度、扫描速度、焊缝位置和焊接压力对于焊缝质量的影响<sup>[7]</sup>。JANSSON 等人研究了准同步焊接中的焊接速度、焊接路径圈数和激光强度对于焊接强度和焊缝质量的影响<sup>[8]</sup>。Bielmatik 公司的 Laser-Tec 系统采用 70W ~ 250W 的 Nd:YAG 激光器,使用高速的扫描镜,可以使激光束快速扫描全部焊缝来完成焊接,其利用的就是准同步焊接技术<sup>[9]</sup>。

### 2.4 掩膜焊接

在掩膜焊接中,激光源和待焊接的部件间插入一层膜。一排线状的激光束投射到焊接区域,然后使激光束和工件之间作相对移动,由于掩膜的遮蔽作用,激光束仅仅作用于希望被焊接的区域,使焊接区域被加热,从而完成焊接,如图 5 所示。在掩膜焊接中,可以

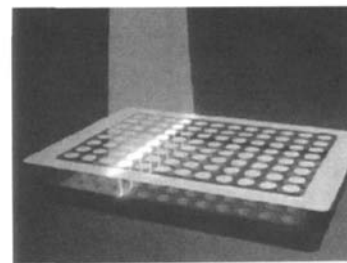


图 5 掩膜焊接原理示意图<sup>[10]</sup>

根据希望地焊缝结构来设计掩膜,只在希望的焊接区域内把工件精确地焊接在一起。这层膜可以达到微米级的精细度,所以掩膜焊接可以达到极高的精度。

掩膜焊接具有快速灵活、可焊接任何平面几何形状、精细焊接等优点,适合于不同宽度的直线和曲线的焊接,以及任何二维的精细焊接。瑞士莱斯特加工技术公司研究了焊接塑料工件或塑料与其它材料的激光焊接方法与装置,其介绍的就是掩膜焊接方法及其激光装置,该方法及装置已经申请了专利<sup>[11]</sup>。

## 2.5 放射状焊接

经由高速扫描电机定位后的激光束,再由圆锥型镜面二次反射,可形成对圆柱状被焊物表面的径向式辐射,由此可以实现对圆柱表面圆周线状的焊接,如图6所示。按电机扫描的快慢程度,可分别作顺序型周

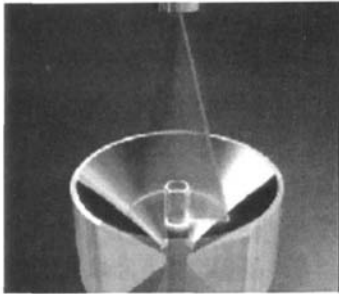


图6 放射状焊接原理示意图<sup>[12]</sup>

线焊接或准同步焊接。零件的紧密配合确保了焊接加工所需要的嵌位压力,而且零件在焊接过程中无需移动。放射状焊接具有适用于不同的直径、无需旋转零件、高产量和无需夹紧装置等特点,适合于圆柱状物体的焊接<sup>[12]</sup>。

## 2.6 Globo焊接

Globo焊接又称为球形焊接,它是沿着产品的轮廓线进行焊接的。激光束由气垫式、可无摩擦任意滚动的玻璃球点状的聚焦于焊接轮廓线上,对焊接区域进行加热,从而完成焊接,如图7所示。该玻璃球不

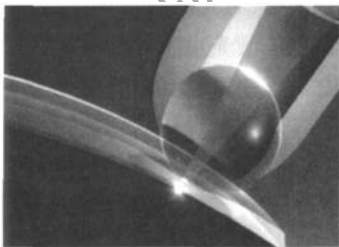


图7 Globo焊接原理示意图<sup>[13]</sup>

仅聚焦激光束,而且也充当机械夹紧夹具。当该球在工件表面上滚动时,为接合面提供了持续的压力,这就确保了在激光加热材料的同时,对材料进行有效的压力夹紧。Globo焊接具有许多优点:不需要附加的夹紧装置、夹紧压力及能量应用可以同步最优化、可与多维机械手联合配套使用。它适合于二维和三维任意形状焊缝的焊接。Globo焊接是瑞士Leister公司拥有的一项的技术,该技术已取得了专利并获得了瑞士国家

发明奖。CHEN对Globo焊接进行了介绍,并分析了该焊接方法的应用领域<sup>[14]</sup>。

## 2.7 衍射焊接

衍射焊接是一种最新的激光焊接塑料方法,如图8所示。它是通过使用衍射器件,把激光束整形成各

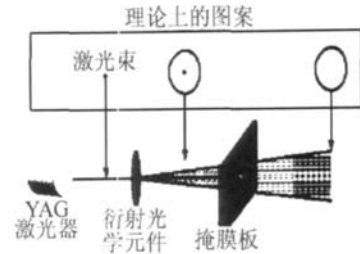


图8 衍射焊接示意图

种形状,然后使各种形状的激光束投射到焊接区域,对焊缝直接进行加热,从而完成焊接。该技术还包括应用光学器件调整激光束形状的大小,然后进行微焊接。衍射焊接具有以下特点:(1)衍射光仪器可以经受住80W功率的激光;(2)衍射光的效率大于55%;(3)可以焊接出大小大约是300 $\mu\text{m}$ ,焊缝为75 $\mu\text{m}$ 的焊接件;(4)可以进行密封焊接,且密封件可以经受住0.7MPa的气压。俄亥俄州立大学的GREWELL提出用衍射光进行塑料焊接,并对衍射光焊接塑料进行了深入的研究<sup>[15]</sup>。

## 3 发展现状

### 3.1 设备及应用现状

瑞士Leister公司推出的世界上首个无需夹持装置的3-D塑料制件球形焊接系统——Globo是目前为止世界上能够焊接三维复杂焊缝的最先进设备,如图9所示。该公司生产的另一机型NOVOLAS<sup>SM</sup> MICRO

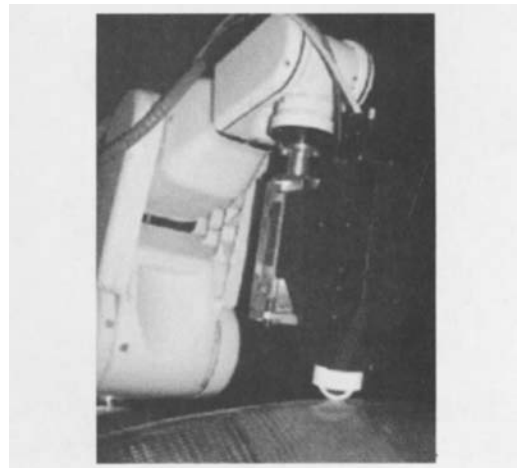


图9 Leister公司的Globo焊接系统

是一个具有超高精度的特殊掩膜焊接系统,可以焊接细达100 $\mu\text{m}$ 的精细结构。凭借小到2 $\mu\text{m}$ 的定位精度,任何想象到的形状都可以很容易地进行焊接,而且

掩膜可以轻松地更换,非常灵活。该技术特别适合医药设备的微型连接。

最近,黑福斯公司研制的双极高能激光系统,焊接接头的宽度可达 20mm,因而能对大尺寸热塑材料进行焊接。这项技术已成功地应用于聚丙烯、聚碳酸酯及薄膜材料的焊接。据该公司介绍,这项技术也可进行不同材质塑料之间的焊接,如泡沫塑料和塑料薄膜之间,以及塑料模具之间的焊接。这一技术在包装业中将有很大的应用潜力<sup>[16]</sup>。

Bielomatik公司的 Laser-Tec 系统采用 70W ~ 250W 的 Nd:YAG 激光器,使用高速的扫描镜,可以使激光束每秒扫描全部接缝 40 次,生成的焊接只有 0.1mm。这种激光系统现正应用于生产汽车的电子开门器。其它应用还包括汽车空气进气管上的传动装置和中控锁、变速箱、安全气囊、油压传感器和发动机传感器等。如果将多台 Laser-Tec 系统组合应用,更可焊接车辆的驾驶室、压力容器、大型的集成传感器等。

Branson 公司生产的 RAM 激光焊接装置,包括:同步型及特形型两个系列。每系列可提供 3 种规格的激光焊接装置:小功率(150W ~ 450W)、中功率(600W ~ 900W)、大功率(900W ~ 1350W)<sup>[9]</sup>。

### 3.2 国内外研究现状

2000 年之前国内对于透射激光焊接塑料的具体研究几乎没有。2004 年,华中科技大学的 LAI 等人研究了红外激光键合塑料芯片的实施条件和键合工艺过程,建立了半导体激光键合实验装置,并实现了有机玻璃芯片的激光键合<sup>[17]</sup>。2005 年,华中科技大学的 YUAN 等人建立了半导体激光焊接系统,在此系统上进行了热塑性塑料的激光焊接实验,研究了不同颜料有机玻璃材料组合的激光焊接可行性,进行了有机玻璃的激光焊接实验,并对焊接样品的焊接强度进行了测试<sup>[18]</sup>。2006 年,上海市激光技术研究所的 WANG 等人通过选用激光、加工设备研究了塑料的激光焊接工艺<sup>[19]</sup>。

自从 1972 年以来<sup>[20]</sup>,国外对激光焊接塑料进行了大量的研究,最近几年塑料的激光透射焊接更是他们研究的热点。目前研究主要集中在焊接工艺<sup>[8,21-24]</sup>、焊接吸收剂<sup>[25-26]</sup>以及焊接过程中的热应力、疲劳强度、流场和温度场等<sup>[27-31]</sup>,更深入具体的研究包括对微流体芯片、微射流设备的焊接<sup>[6,32-33]</sup>,三维焊接<sup>[14,34]</sup>,尺寸较大件的焊接<sup>[35]</sup>,衍射激光焊接<sup>[15]</sup>。

## 4 展望

可以看出,目前研究主要集中于二维焊接。二维激光焊接塑料不管在设备上、工艺上还是方法上都比

较成熟,而三维焊接研究得较少,总体上还处于起步阶段。因此,今后的发展方向及研究方向是:三维焊接设备的研制、三维激光焊接塑料的相关研究、微焊接、精细焊接。激光焊接塑料正成为激光焊接领域的一个热点,它具有焊接速度快、干净无污染、设备简单、焊接适应性强、无震动、可精确控制焊接位置和尺寸、可减少热变性或是焊接件的损坏等许多优点。随着这些新的焊接方法的出现、研究的深入和焊接设备的商品化,激光焊接塑料技术也会越来越成熟,并且逐步进入生产企业,取代传统的塑料焊接方法。

### 参 考 文 献

- [1] WANG J Ch. Development and expectation of laser welding technology [J]. Laser Technology, 2001, 25(1): 48-53 (in Chinese).
- [2] ZHANG Sh Y. Laser welding of plastics [J]. Laser & Infrared, 2000, 30(3): 170-174 (in Chinese).
- [3] CHEN G, XIA Y R, KONG L B, et al. Plastics welding technology and its application in medical product [J]. Engineering Plastics Application, 2003, 31(9): 35-38 (in Chinese).
- [4] Shanghai Institute of Laser Technology. Multidimensional equipment of laser welding of plastics: China, 200420090111. 8 [P]. 2005-10-12 (in Chinese).
- [5] JIAN J. Laser welding for plastic components [J]. Assembly Automation, 2002, 22(2): 129-135.
- [6] CHEN J W, ZYBKO J, CLEMENTS J. Diode laser bonding of planar microfluidic devices, biochips, diagnostic chips & microarrays [C] // 2005 NSTI Nanotechnology Conference and Trade Show. Cambridge: Nano Science and Technology Institute, 2005: 438-448.
- [7] POTENTE H, BECKER F, FIEGLER G, et al. Investigations towards application of a new technique on laser transmission welding [J]. Welding Research Abroad, 2002, 48(3): 2-7.
- [8] JANSSON A, KOUVO S, KUJANPAA V. Quasi-simultaneous laser welding of polymers—The process and applications for mass production [C] // 24th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, ICALEO 2005. Orlando: Laser Institute of America, 2005: 381-387.
- [9] WANG Y L. The latest application of laser processing [EB/OL]. [2005-03-22]. <http://www.oeonet.cn/viewNews.asp?id=545>.
- [10] Leister Company. Mask welding [EB/OL]. [2006-11-01]. <http://www.leister.com/en/maskenschweissen.html>
- [11] Leister Machining Technology Corporation. Laser welding methods and equipment of joining plastics parts or plastics and other materials: Switzerland, 99101816. 9 [P]. 2000-09-20.
- [12] Leister Company. Radial welding [EB/OL]. [2006-11-01]. <http://www.leister.com/en/radialschweissen.html>
- [13] Leister Company. Globo welding [EB/OL]. [2006-11-01]. <http://www.leister.com/en/globoschweissen.html>
- [14] CHEN J W. The third dimension: laser transmission welding [J]. Kunststoffe Plast Europe, 2004, 94(5): 86-88.
- [15] GREWELL D A. Modeling of molecular healing for micro-Laser welding of plastics with diffractive optical elements as spatial modulators [EB/OL]. [2007-01-15]. <http://gradworks.umi.com/31/79/3179681.html>
- [16] XIE P Ch. America Heifusi declared a newest laser welding technique of plastics [EB/OL]. [2006-02-27]. <http://www.pprocessing.com/ShowNewsD.asp?D=2016>

- [17] LAIJ J, CHEN X Q, ZHOU H, *et al* Investigation of infrared laser heating and bonding of plastics chips [J]. *Infrared Technology*, 2004, 26 (2): 68-71 (in Chinese).
- [18] YUAN H, LAIJ J, HE Y G Experimental study on laser welding of the thermoplastics [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2005, 3 (1): 18-21 (in Chinese).
- [19] WANG Y L, CUI Y, WANG J Ch, *et al* Technology of laser welding plastic [J]. *Applied Laser*, 2006, 26 (2): 93-96 (in Chinese).
- [20] H L TON P A, JONES I A, KENNISH Y. Transmission laser welding of plastics [J]. *SPIE*, 2003, 4831: 44-52.
- [21] COELHO J P, LOBATO M, ABREU M A, *et al* Influence of laser spot shape on welding of thin thermoplastics [C]//Proceedings of the Laser Materials Processing Conference ICALEO 2000. Orlando: Laser Institute America, 2000: 73-81.
- [22] HOULTA P, BURRELL M. The effect of diode laser wavelength on the Clearweld(TM) welding process [C]//CALEO 2002. 21st International Congress on Applications of Laser Institute America Orlando: Laser Institute America, 2002: 1799-1807.
- [23] GREWELL D A, ROONEY P, KAGAN V A. Relationship between optical properties and optimized processing parameters for through-transmission laser welding of thermoplastics [J]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2004, 23 (3): 239-247.
- [24] KAGAN V A, PNHO G P. Laser transmission welding of semicrystalline thermoplastics—Part II: Analysis of mechanical performance of welded nylon [J]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2004, 23 (1): 95-107.
- [25] HABERSTROH E, LUTZELER R. Influence of carbon black pigmentation on the laser beam welding of plastics micro parts [J]. *Journal of Polymer Engineering*, 2001, 21 (2/3): 119-130.
- [26] ANON J. Additives aid laser welding [J]. *Plastics, Additives and Compounding*, 2005, 7 (1): 34-35.
- [27] POTENTE H, FIEGLER G. Laser transmission welding of thermoplastics—Modelling of flows and temperature profiles [C]//Annual Technical Conference—ANTEC, Conference Proceedings Brookfield, United States: Society of Plastics Engineers, 2004: 1193-1199.
- [28] CHO S K, YANG Y S, SON K J, *et al* Fatigue strength in laser welding of the lap joint [J]. *Finite Elements in Analysis and Design*, 2004, 40 (9/10): 1059-1070.
- [29] COELHO J M P, ABREU M A, RODRIGUES F C. Influence of thermal stresses in modelling the lap welding of thermoplastic films [C]//2005 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe Piscataway: IEEE, 2005: 658.
- [30] FARGAS M, von BUSSE A, BUNTE J. Flow field analysis during quasi-simultaneous welding of thermoplastics [C]//Annual Technical Conference—ANTEC, Conference Proceedings Brookfield, United States: Society of Plastics Engineers, 2005: 196-200.
- [31] DONGHUN N, AVRAHARN B. Analysis of heat transfer in combined socket and butt through transmission infrared welding of plastic pipes [C]//Annual Technical Conference—ANTEC, Conference Proceedings Brookfield, United States: Society of Plastics Engineers, 2005: 186-190.
- [32] HOULTA P. Laser welding of polymer micro-fluidic devices using novel diode laser sources [C]//Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering Bellingham, United States: The International Society for Optical Engineering, 2003: 308-313.
- [33] CHEN J W, ZYBKO J, CLEMENTS J. Diode laser bonding of planar MEMS, MOEMS, & microfluidic devices [C]//Micro- and Nanosystems—Materials and Devices Symposium. Warrendale: Materials Research Society, 2005: 309-314.
- [34] HABERSTROH E, LUETZELER R. 3-D laser transmission welding [C]//Annual Technical Conference—ANTEC, Conference Proceedings Brookfield, United States: Society of Plastics Engineers, 2003: 1099-1104.
- [35] DONGHUN N. A study of the combined socket and butt welding of plastic pipes using through transmission infrared welding [EB/OL]. [2007-01-15]. <http://gradworks.umi.com/31/60/3160813.html>

(上接第 165 页)

- [3] HUA R Zh, QIAN L J, ZHANG T, *et al* Short pulse generation in a Nd:YAG laser by silicon [J]. *Opt Commun*, 1997, 143: 47-52.
- [4] GUO H Q, LIN Sh X, WANG Q M. Photoluminescence and application of nonlinear optical property of nc-Si-SiO<sub>2</sub> films [J]. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2006, 27 (2): 345-349 (in Chinese).
- [5] JIANG Q Ch, ZHUO Zh, WANG Y G, *et al* Study on the characteristics of Q-switching Nd:YVO<sub>4</sub> laser with GaAs grown at low temperature [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 35 (8): 1133-1136 (in Chinese).
- [6] SPUHLER G J, PASCHOTTA R, FLUCKER, *et al* Experimentally confirmed design guidelines for passively Q-switched microchip lasers using semiconductor saturable absorbers [J]. *JOSA*, 1999, B16 (3): 376-388.
- [7] WANG Y G, LI Ch Y, MA X Y, *et al* Passive Q-switching in a flashlamp pumped Nd:YAG laser with ion-implanted GaAs wafer [J]. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25 (2): 148-151 (in Chinese).
- [8] WANG J X, ZHUANG X W. Passive Q-switching and mode-locking in a flashlamp-pumped Nd:YAG laser with semiconductor saturable absorption mirror [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2006, 14 (4): 585-588 (in Chinese).
- [9] ZANGL D, MOU Q Zh. *Nanomaterial and nano-structure* [M]. Beijing: Science Press, 2001: 147-148.
- [10] MA Zh X, LAO X B, KONG G L. Optical properties of nanocrystalline silicon [J]. *Science in China (Series A)*, 1999, 29 (7): 625-631 (in Chinese).
- [11] YAO W G, YUE L P, QI Zh Zh, *et al* Visible photoluminescence of Ge nanocrystallites embedded in SiO<sub>2</sub> thin film [J]. *Journal of Functional Material*, 1997, 28 (5): 477-478 (in Chinese).
- [12] LI P, WANG Q P, GAO D, *et al* Study of a passively Q-switched Nd:YAG laser with GaAs [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, 20 (6): 774-749 (in Chinese).