

铜激光倍频光实现材料固化的研究

雷建求 梁培辉 任虹 沈琪敏 叶韧

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

吴明红 居学成

(上海大学嘉定校区射线应用研究所 上海 201800)

提要 报道了一种具有 252 nm 吸收峰波长的光聚合物。在平均功率密度为 $1 \text{ mW}/\text{mm}^2$ 的铜激光倍频光辐射 30 min 后, 实验得到了尺寸为 $12 \times 2.5 \times 5$ (mm) 的固体模型。

关键词 铜激光, 倍频, 固化

激光制模是八十年代末兴起的一种新型的制模技术, 它利用计算机控制紫外激光束扫描, 使液态聚合物材料固化制作成为立体模型, 激光制模技术为汽车制造业、仪器、工程、建筑等设计行业提供辅助手段^[1]。

铜蒸气激光器(CVL)是一种高重复频率、高增益、短脉冲的激光器, 其输出为 510.6 nm 及 578.2 nm 双波长激光, 它与 BBO 晶体结合, 所产生的波长 255.3 nm 的铜激光倍频光接近通常用作紫外固化光源的中压汞灯峰值波长^[2-4], 与常用作材料固化的激光光源(如 He-Cd 激光)相比, 它具有高重复率、高峰值功率、良好方向性等优点, 从而可提高材料的固化速率及制模精度, 因此铜激光倍频光有望成为一种新型的激光制模紫外光源。

1 用 BBO 晶体实现铜激光倍频

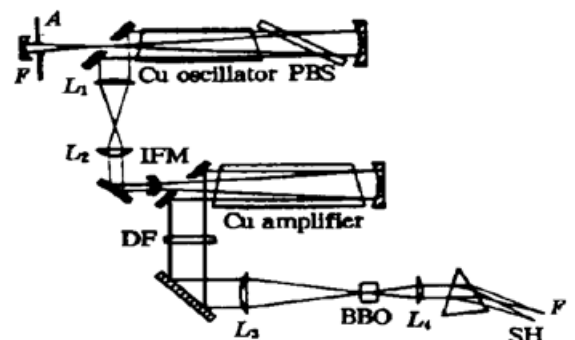
我们采用两台不同口径的自加热式铜激光器组成自滤波振荡、注入锁定激光系统, 实验装置如图 1 所示, 振荡器及放大器的放电管内径及电极间距分别为 $\phi 20 \times 580 \text{ mm}$, $\phi 34 \times 890 \text{ mm}$, CVL 放电重复频率为 6 kHz。振荡器的输出光经 1.6 的缩孔望远镜后, 通过一块半透半反的腔片匹配注入到带有放大倍率为 10 的正支非稳腔的放大器中, 这种放大器我们称作注入锁定放大器^[5], 它的前、后腔板的曲率半径分别为 5 m 及 0.5 m, 放大器的输出采用一块镀全

图 1 实验装置图

F: 基波光(510.6 nm); SH: 倍频光(255.3 nm); DF: 反黄透分光镜; PBS: 起偏器; IFM: 注入反射镜; FA: 滤波小孔

Fig. 1 Experimental setup

F: fundamental light at 510.6 nm; SH: second harmonic light at 255.3 nm; DF: dichroic filter which transmits the green laser beam and reflects the yellow one; PBS: polarizing beam splitter; IFM: injection feedback mirror; FA: filtering aperture



反膜的带有 4 mm 小孔的 45°斜孔板。输出激光发散角为 0.22 mrad, 偏振度为 93%, 绿光功率为 2.1 W 激光。我们在口径为 34 mm 的放大器的输出端放置一块透绿(510.6 nm)反黄(578.2 nm)的镀膜平板, 并用一块焦距为 1.8 m 的透镜将绿光聚焦到 9 mm 的未镀膜的 BBO 晶体上进行倍频, 得到波长为 255.3 nm, 功率为 20 mW 的倍频光, 用于紫外材料固化成型实验。

2 光聚合物的研制

光聚合物材料必须具备以下特征: 对激光波长的灵敏性; 固化速度较快; 粘度尽可能低; 固化后无毒且具备足够硬度。针对不同的激光光源波长, 研制、选择合适的光聚合物有机材料及各材料之间的配比非常重要。

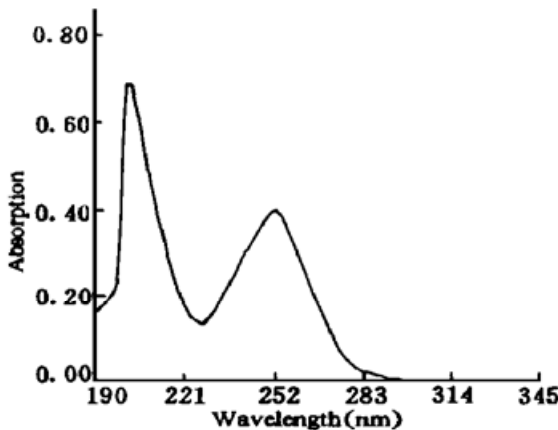


图 2 光引发剂紫外光吸收谱

Fig.2 The ultraviolet absorption band of the photo-initiator

丙烯酸环氧树脂具有硬度、柔软性两者兼有的特点以及对氧的阻聚作用, 且结构上带有可供聚合的活性双键。因此, 丙烯酸环氧树脂已成为各种光源较为理想的预聚物。通过实验合成的季戊四醇三丙烯酸酯在稀释性能上无可匹敌且极其活泼, 能产生高密度的固化层, 同时增加固化速度。光敏剂是任何紫外光固化体系不可缺少的因素, 其接收紫外光能后产生自由基的速度与紫外光波长有着密切关系, 且其浓度的大小将直接决定着固化的速度, 同时影响到固化后材料的性能。通过实验研究, 针对铜激光倍频获得的 252 nm 激光波长, 我们对不同的光敏剂种类、浓度进行了探讨, 实验得出安息香双甲醚在 252 nm 波长处有一强的吸收峰, 这一吸收峰与铜激光倍频光波长非常接近。安息

香双甲醚的吸收光谱如图 2 所示。

光固化材料的光学性能主要由光敏剂所决定, 不同的光敏剂材料具有其特定的吸收光谱, 实验合成的安息香双甲醚在光学性能上表现为对 255.3 nm 波长的强吸收特性。另外, 常用的光敏剂(如安息香乙醚)等材料的不足之处在于醚碳原子上连接的氢与空气中的氧作用, 生成过氧化物而分解, 造成固化表面产生裂纹。安息香双甲醚避免了生成过氧化物的可能性。

3 实验结果

通过对光聚合物中各组分多种配比进行实验, 结果得出在丙烯酸环氧树脂·季戊四醇三丙烯酸酯·安息香双甲醚配制比例为 1:1:0.04~0.10 时固化效果最佳。铜激光倍频光通过一块焦距为 300 mm 的石英柱透镜聚焦于液槽, 液槽与一可上下移动的升降架固定, 聚焦焦斑尺寸为 12×2.5 (mm), 采用乙醇溶液将配制好的光聚物进一步稀释后注入工作液槽内形成一个薄层, 液面上接收光照的部分由液态变为固态, 未受光照的部分仍维持液态, 如此完成一个固体层的制作, 接着工作槽下降一个高度, 而后进行下一层的固化, 如此重复, 在平均功率密度为 ~1 mW/mm² 铜激光倍频光照射下, 30 min 后得到图 3 所示固化模型, 模型尺寸为 12×2.5×5 (mm)。

近年来铜蒸气激光器得到了迅速的发展, 单台器件输出功率超过 200 W, 其最高倍频效率已达 28%^[6], 可见铜激光倍频光有望达几十瓦以上, 这是任何用于紫外材料固化光源(如 He-Cd 激光器等)所不及的, 它与准分子激光相比, 不仅具有良好的方向性, 而且有较高的重复频率, 与 He-Cd 激光相比有更短的激光波长, 这些优点可大大地提高固化的扫描速度及制模精度。铜激光倍频光在紫外材料固化上的实现同时拓宽了金属蒸气激光器的应用。



图 3 固化模型照片

Fig. 3 Photo of the solid model

本实验合成的紫外光固化材料具有其特点, 由安息香双甲醚的吸收光谱曲线可见, 它的吸收峰与铜激光倍频光波长十分接近, 这点是常用的紫外固化材料与光源在匹配上难以达到的; 实验合成的季戊四醇三丙烯酸酯有着强烈的稀释性能且极其活泼, 可大大降低固化材料的粘度, 提高固化层达到均匀所需的时间, 促进高密度固化层的迅速产生, 同时增加固化速度; 本实验合成的紫外光固化材料另一个显著特点是它的毒性低, 这点在实际运用中很重要。

可见将铜激光倍频光(紫外)辐射于丙烯酸环氧树脂、季戊四醇三丙烯酸酯、安息香双甲醚所构成的光聚合物实现了材料固化成型, 并得到了实物模型。当然, 本实验所制作的仅仅是一个实验雏型, 要制作出实用化的固化模型, 还需要许多其它各方面工艺等的配合, 如添加助剂以提高模型的硬度和光洁度等。

参 考 文 献

- 1 David A. Belforte. Rapid prototyping speeds product development. *Laser Focus World*, 1993, (6) : 126
- 2 张桂燕, 景春阳, 林福成 等. 利用 β -BzB₂O₄ 晶体的铜蒸气激光倍频. *光学学报*, 1984, 4(6) : 519
- 3 T. Omatsu, K. Kuroda, T. Shimura *et al.*. Non-collinear interaction model of the second harmonic generation of a copper vapor laser. *Opt. Commun.*, 1990, 79 : 125
- 4 任 虹, 梁培辉, 路敦武 等. 高效铜激光倍频光及在光刻中的应用. *中国激光*, 1995, A22(1) : 12
- 5 Jianqiu Lei, Peihui Liang, Qimin Shen. Using an aperture to measure the divergence evolution of injection-locked vapoer laser pulse. *Opt. Commun.*, 1994, 111 : 483
- 6 D. W. Coutts, J. A. Piper. One watt average power by second harmonic and sum frequency generation from a single medium scale copper vapor laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1992, QE-28 : 1761

Solid Model Formation of a Photo-polymer under Copper Vapor Laser Irradiation

Lei Jianqiu Liang Peihui Ren Hong Shen Qimin Ye Ren

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Wu Minghong Ju Xuecheng

(Shanghai Applied Radiation Institute, Shanghai University, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, a photopolymer with the peak absorption wavelength of 252 nm is reported. And after the photopolymer being irradiated about 30 minutes at an average output laser power density of 1 mW/mm², a solid model of the size of 12×2.5×5 (mm) was obtained.

Key words copper vapor laser, second-harmonic generation, curing