

用准分子激光 CVD 制作 SnO₂ 微透镜及其阵列的技术研究

王庆亚 马力 赵方海 郑伟 张玉书 高鼎三

(吉林大学电子工程系, 集成光电子国家重点实验室吉林大学实验区, 长春, 130023)

摘要: 本文利用准分子激光 CVD 技术以液态 SnCl₄ 和氧气为源制出了半径 45μm 的 SnO₂ 薄膜微透镜及微透镜阵列。并从反应机制和生长规律出发对这一生长技术特点和前景进行了阐述。

关键词: 准分子激光 CVD 微透镜 微透镜阵列

Study on the fabrication technology of SnO₂ microlens and its array by using excimer laser-CVD technique

Wang Qingya, Ma Li, Zhao Fanghai, Zheng Wei, Zhang Yushu, Gao Dingsan

(Dept. of Electronic & Engineering, Jilin University, Jilin Univ.
Division of Integrated Optoelectronics Union Lab.)

Abstract: Here we fabricate a microlens with 45μm radius and its array with liquid SnCl₄ and oxygen as the sources by using excimer laser CVD technique. According to its growing mechanism and growing law, we also show the characteristics and the prospects of this technology.

Key words: excimer laser-CVD microlens microlens array

一、引言

微透镜以及微透镜阵列是微小光学(Microoptics)中重要的单元器件,在以二维和三维集成光学为基础的光信息处理系统中将得到广泛的应用。不仅如此,目前在许多领域中它已经获得了实际应用,如:光纤输出、复印机、传真机、内窥镜和光盘读写器等。微透镜及其阵列的制作方法很多,1969年日本北野一郎等人首先利用离子交换技术成功地制作了自聚焦透镜^[1],以后树脂热流动工艺^[2-4]、对光解玻璃的光解工艺^[5-6]、溶胶-凝胶工艺^[7-8]、聚合物内的单体交换及扩散工艺^[9]以及 CVD 工艺^[10-14]便随之而产生。但是如何获得一种满足高精度超小型微透镜及其阵列大批量生产的制作工艺还有待于人们的进一步发展和完善。目前激光 CVD 技术正以其生长精度高、选择性强而逐渐引起专家们的重视。我们利用 KrF, ArF 准分子激光 CVD 方法进行了 SnO₂ 微透镜及其阵列的制作尝试,类似工作目前在文献中尚无报导。本文将就其工艺过程和生长机理进行介绍和简单讨论。

SnO₂ 薄膜不仅在 400nm~1500nm 的可见及近红外波段具有很好的透射率特性^[15],而且它还是一种性能优良稳定的薄膜电极材料。根据这些特性,可以利用它制作微型透镜,同时它又可以充当透明导电微透镜电极,因此在 1.3μm 或 1.5μm 光通讯和集成光电子学的光纤耦合以及面发射激光电极等方面都能够获得广泛的应用。

二、生长设备、机理及规律研究

准分子激光 CVD 技术是近年来迅速发展起来的一项新型的薄膜生长工艺^[18],它不仅

版权所有 © 《激光技术》编辑部
http://www.lgjs.net.cn

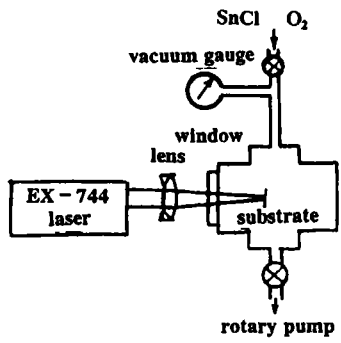


Fig. 1 Excimer laser CVD apparatus for SnO₂ films growth

通过降低衬底温度而提高薄膜的形成质量,而且由于光与衬底表面间的相互作用使它具有很高的选择性,是一项很有前途的薄膜形成新工艺。生长系统见图 1,其中的准分子激光器为本实验室新引进的加拿大产 EX-744 准分子激光器, KrF 波长 248nm, 能量 0~550mJ; ArF 波长 193nm, 能量 0~180mJ, 脉冲频率 1~50Hz 连续可调。激光光束由激光器输出后首先经过欲透影的物象, 然后经聚焦系统、石英窗口进入反应室照在反应衬底上。衬底可利用其下面的电炉丝加热至要求温度。反应源为氧气和液态 SnCl₄ (恒温 -18℃ 分压约 2Torr), 反应压力恒定在 50Torr, 生长时间一般取 30min。生长时衬底表面

上激光能量密度通常定于 50mJ/cm², 脉冲频率取 10Hz。

图 2 为 SnCl₄ 的吸收光谱, 从中我们可以看到, 在 193nm 附近 SnCl₄ 有较强的吸收峰, Iverson 以及 Fernandez 等人的 VUV 光谱研究表明: 此波长激光束可使 SnCl₄ 分子光分解, 其吸收截面为 3.8 × 10⁻¹⁷ cm²[17], 分解后的 SnCl₃ 分子较不稳定, 同时氧气分子在此波长亦有吸收, 使得它被激发至非稳态, SnCl₃ 与非稳态氧在衬底参与下发生反应, 形成 SnO₂ 薄膜[18~19]。即:

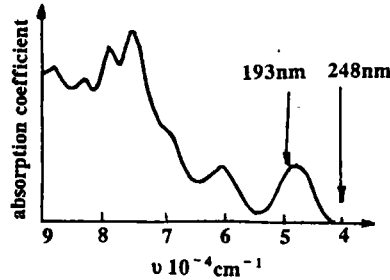
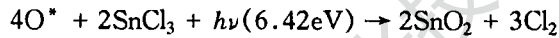
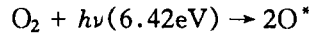
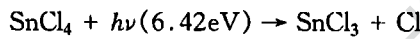


Fig. 2 Vacuum UV spectra of SnCl₄



我们获得的薄膜生长速率与激光能量密度的关系如图 3, 其结果与 R. R. Kunz 的结果基本一致[20]。

对于 248nm 波长 KrF 激光器, 薄膜生长速率与能量密度关系见图 3 中 B 线, 其相同生长速率的能量密度明显高于 ArF 情形。这一点, 我们可以通过图 2 中的吸收光谱进行解释: 对应 248nm 波长, SnCl₄ 吸收系数远小于 193nm, 我们甚至可以说其不吸收, 对此情形的反应机制, 松本认为其发生的是

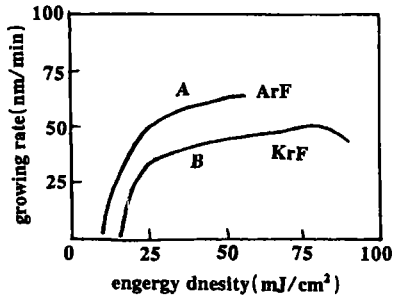


Fig. 3 The dependence of growing rate on the light energy density

双光子吸收导致与氧在气相中发生反应[17], 而 Putz 和 Yoshinobu 则认为是衬底的吸附作用引起了 SnCl₄ 吸收峰的展宽或红移, 从而使它与 ArF 的作用一样受到光激发促进了反应进行[21~22]。就是说, 是激光与衬底的共同作用, 使 SnCl₄ 与氧的反应活化能降低, 使得通常 450℃ 高温下的反应能够在室温下进行。

三、实验结果与分析 <http://www.jgjs.net.cn>

通过光强分布的理论计算,结合图3的速率分布关系,我们选择了圆孔光阑半径为 $l=7.965\text{mm}$,透镜至衬底距 $z=135\text{mm}$,入射光能量密度 $A=0.04\text{mJ}/\text{cm}^2$,生长出的薄膜见图4,图中a为理论曲线,b为台阶仪测试的膜厚实验曲线,c线为圆弧线,圆弧半径 $250\mu\text{m}$,张角约 $10^\circ57'$ 。从图中我们发现:实验曲线与理论曲线之间存在较大的差异,这主要归因于实验测定的光强速率分布与实际分布间存在的差异所致。图4中同时也看到:理论达到的形状与要求的理想圆弧状亦存在差异,我们的理论计算表明这一点可通过恰当选择 l, z 值来共同改善。

实验膜厚分布呈为钟形,半径约 $45\mu\text{m}$,轮廓与聚焦光束光强高斯具有一定的相似性^[18]但并不完全相同,这主要归因于薄膜生长速率与光能量密度的非严格线性关系。在图3中已经看到,对 ArF,光束能量密度在 $15\sim 35\text{mJ}/\text{cm}^2$ 间时,生长速率与能量密度有较好的线性关系,膜厚分布能够较好的反应光能量密度分布特征,而当能量密度低于 $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 时,薄膜生长速率下降很快,这使得膜边缘厚度突然截止而非平稳过渡,能量高于 $35\text{mJ}/\text{cm}^2$ 后的一段区间,薄膜生长速率接近饱和不再随光能量密度增加,这便形成了薄膜钟形的钟顶区,能量进一步增强超过 $60\text{mJ}/\text{cm}^2$ 后, SnO_2 薄膜可能发生分解,使薄膜生长速率下降。由此可见,如何把光能量密度分布控制在要求的形式上,以及如何把光斑控制在要求的范围内,是长好薄膜微透镜的关键所在。对于 KrF 激光情况完全类似,只不过光能量密度的对应值向高能量区平移了一段区间。

对于微透镜阵列的激光 CVD 技术制作还一直未见报导,我们在制作微透镜的同时,也进行了这种尝试,方法是将在一微孔阵列光阑(孔半径约 1mm)置于聚焦系统之前,由于激光光束为平行光,所以我们可以透镜后不同距离处获得缩小尺寸不同的光斑阵列,从而同样利用这种光选择特性获得微透镜阵列。从理论上讲这种方法获得的光斑阵列分布非严格近轴,光强分布可能与光轴上的光斑不尽相同,但从我们实验测得的微透镜阵列膜厚分布来看,结果与光轴上单一孔径光阑聚焦后制作的单一微透镜膜厚分布曲线形状并无不同。这说明在一定条件下,利用微孔阵列聚焦的方式,可以获得微透镜阵列。这种简单的制作方法无疑将是激光 CVD 微透镜制作的重要特色之一。

四、结 论

对于孔径要求小于 $5\mu\text{m}$,焦距在 $10\mu\text{m}$ 范围内的超小型微透镜来说,如果是理想圆弧状分布平凸透镜^[12,13],微透镜中心厚度一般不超过 $0.5\mu\text{m}$ ^[12,13],对于最大厚度仅 $0.5\mu\text{m}$ 且要求向边缘连续递减分布的膜,一般的生长技术是很难实现的,因为它不仅要求厚度精确可控,而且还要求实现连续平滑分布。如利用光解工艺技术,仅获得了孔径 $78\mu\text{m}$ 的透镜^[23,24],利用变折射率技术获得的透镜达 $10\mu\text{m}$ ^[25],激光 CVD 技术虽然已经获得了较大的进展,但英贡目

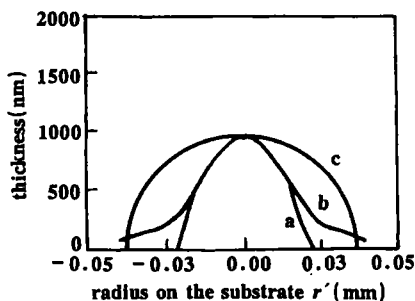


Fig.4 The film thickness comparison between theoretical(a), experimental(b), circle arc(c)

前利用 CO₂ 激光器方式获得的微透镜半径刚刚达到 20 μ m, 中心厚度为 0.66 μ m, 据估算焦距为 150 μ m^[14]。从理论上讲, 紫外激光由于波长短且利用了光分解的方式而非热分解机制, 可以大大提高膜厚及膜直径的生长精度, 是众技术当中最具有发展前途的技术之一。在本实验中, 我们分别利用 ArF, KrF 完成了微透镜及其阵列的制作, 并且达到了半径 45 μ m 的较好精度, 但在半径及厚度分布上都有待于进一步提高, 一种方法是进一步改进高斯光束的强度分布, 使其在要求的孔径区间强度与生长速率线性化; 另一种方法是利用 Kubo 和 Sugimura 等人报导的刻蚀特性改善不合要求的膜厚分布方式, 使之理想化, 从而得到聚焦良好的微透镜及微透镜阵列。这项工作我们正进一步探索。

参 考 文 献

- 1 Kitano L, Koizumi K, Matsumura *et al.* Jpn J A P, 1970;39:63
- 2 Abitbol M, Ebenberg N. SPIE, 1990;1334:110
- 3 Poporic Z D, Sprague R A, Nevilleconnell G A. Appl Opt, 1988;27(7):1281
- 4 Mersereau K. SPIE, 1992;1751:229
- 5 Borelli N F, Mores D L, Bellman R H *et al.* Appl Opt, 1985;24(16):2520
- 6 Borelli N F, Mores D L. Appl Opt, 1988;27(3):476
- 7 Nognes J-L R, Howell R L. SPIE, 1992;1751:214
- 8 Yasuhiro K, Yoshitaka U, Yasuji O. Appl Opt, 1988;27(3):486
- 9 Oikawa M, Iga K. Appl Opt, 1982;21:1052
- 10 西尺宏一, 及川正寻. O plus E, 1987;86:73
- 11 Jahns J, Walker S J. Appl Opt, 1990;29(7):931
- 12 Kubo M, Hanabusa M. Appl Opt, 1990;29(18):2755
- 13 Atsuhiko S, Asushi F, Itsugu H. J A P, 1987;62(8):3222
- 14 英贾. 光学, 1990;19(4):236
- 15 Bousquet P, Fornier A, Lowalczyk R *et al.* Thin Solid Films, 1972;13:285
- 16 王庆亚, 张玉书. 激光技术, 1994;18(3):161
- 17 松本 明, 村原正隆, 丰田浩一. レーザ-科学研究, 1991;13:111
- 18 Iverson A A, Russell B R. Spectrochim Acta, 1973;29A:715
- 19 Fernandez J, Lespes G, Dargelos A. Chem Phys, 1987;111:97
- 20 Kunz R R, Rothschild M, Ehrlich D J. A P L, 1989;54(17):1631
- 21 Putz N, Heinecke H, Veuhoff E *et al.* J Crystal Growth, 1984;68:194
- 22 Yoshinobu A, Manabu K, Atsutoshi D *et al.* J A P, 1986;60(9):3131
- 23 Borelli N F, Mores D L, Bellman T H *et al.* Appl Opt, 1985;24(16):2520
- 24 Borelli N F, Morse D L. Appl Opt, 1988;27(3):476
- 25 Nishizawa K, Oikawa M. SPIE, 1992;54:1751



作者简介:王庆亚(附照片),男,1968年9月生。博士,讲师。现从事准分子激光 CVD 等领域的研究工作。

张玉书,男,1938年6月生。教授。现主要从事准分子激光微加工技术研究工作。

收稿日期:1995-03-10 收到修改稿日期:1995-12-26