

大学生创新训练计划项目

一种同步监测泵浦光斑与样品表面微结构的装置

学术报告

学校：上海理工大学 项目成员：钟宇 郑书琪 温强强 李爽

指导教师：彭滢 副教授

摘要：

目前的表面微构造材料的制备系统通常都比较简单，不具备同时监测泵浦光斑与样品表面微结构的功能，不能有效地监测材料制备过程中的表面微结构的形成过程也不能保证激光的泵浦光斑在制备过程中一直保持正常。该装置提出了一种同步监测泵浦光斑与样品表面微结构的装置及调整方法，即可实现监测泵浦光斑以及监测反射型与透射型材料表面微结构实验装置之间的快速便捷转换。

关键词： 泵浦光斑；反射型材料表面微构造；透射型材料表面微构造

一、选题背景及意义

微结构材料是通过化学物理等手段使材料表面具有微米量级的准尖峰结构形貌的材料，这种微结构材料由于具有高吸收，对红外波段有很好响应等光学物理性质被广泛应用于能源、传感器等方面。微结构材料的制备与研究已经成为物理、化学、电子等诸多学科领域学者所共同关注的焦点。这种表面微构造的材料在遥感、光通讯、太阳能电池、红外传感器以及微电子等领域都具有重要的潜在应用价值。微结构材料及其器件的制备已经成为目前信息技术发展的主要方向之一。

目前，这种表面微构造材料的制备系统通常都比较简单，不具备同时监测泵浦光斑与样品表面微结构的功能，不能有效地监测材料制备过程中的表面微结构的形成过程也不能保证激光的泵浦光斑在制备过程中一直保持正常。

一般观察泵浦光斑的方法，就是用 CCD 放在光路中进行观测，而在实验的过程中是无法对泵浦光斑进行观测的，当激光器有所变动的时候，只能中止实验将 CCD 放进光路中观测泵浦光斑，十分繁琐，对实验的连续性十分不利。而一般观测样品表面微结构的方法，是在样品加工完成之后，将样品取出，再通过扫描电子显微镜等工具对其表面微结构进行观测，但是无法在实验过程中对样品的微结构进行实时的观测，样品取出，其微结构是否有所改变也不得而知。

总的来说，目前制备表面微构造材料的系统过于简单，如果在实验中激光器有所变化，需要观察其泵浦光斑，实验装置的调整十分繁琐，而且对实验的连续性十分不利；而且目前无法在实验的过程中观测样品的表面微结构，对其表面微结构的形成过程没有直观地记录和观察。基于实验上的各种不便捷性，目前还没有可同步监测泵浦光斑和样品表面微结构的装置出现。

二、方案论证

本项目是针对制备表面微构造材料的系统过于简单，生产控制若需要观察泵浦光斑与样品表面微结构则十分繁琐的问题，提出了一种同步监测泵浦光斑与样品表面微结构的装置及调整方法，具体如图 1 所示。它采用 CCD、带有旋转底座的分束片和三个反射镜，通过调节旋转分束片，即可实现监测泵浦光斑以及监测反射型与透射型材料表面微结构实验装置之间的快速便捷转换。

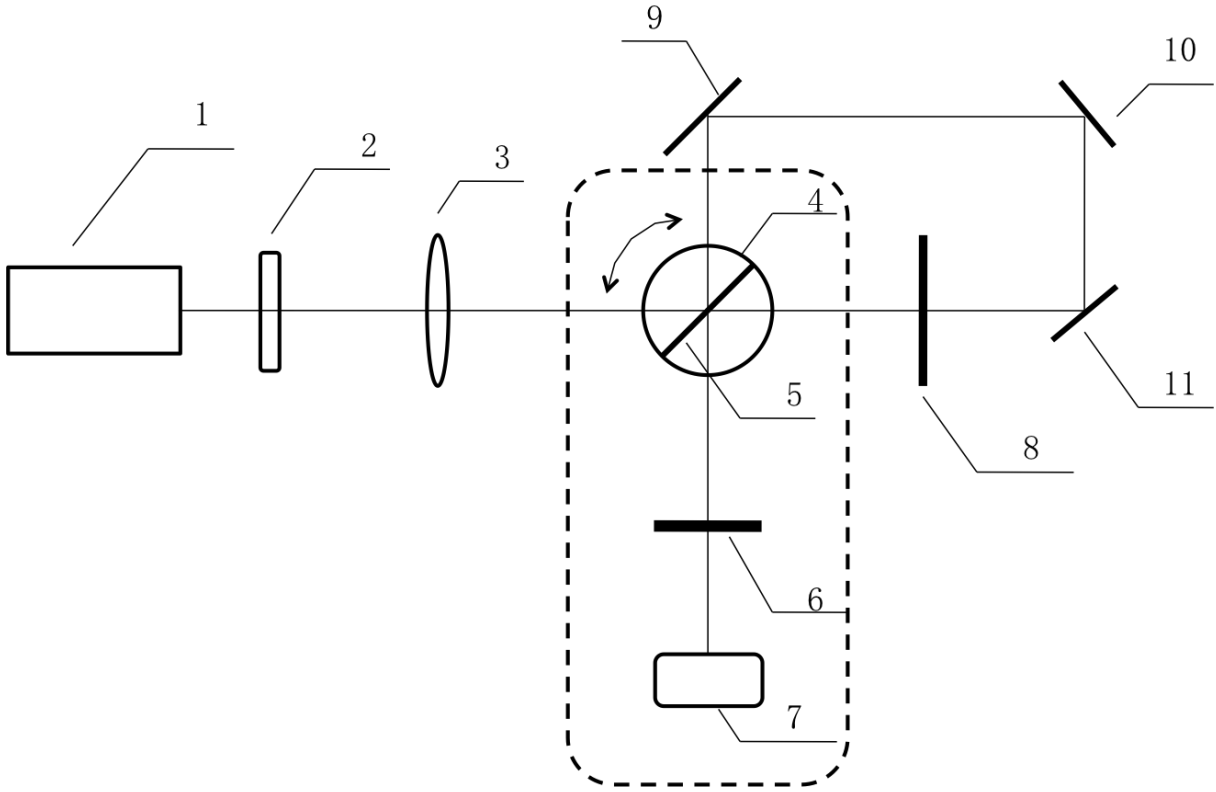


图-1

1-激光器 2-光隔离器 3-透镜 4-转台 5-分束片 6-可调衰减片 7-成像探测器， 8-样品 9-第一反射镜 10-第二反射镜 11-第三反射镜

如图 1 所示同步监测泵浦光斑与样品表面微结构装置结构示意图，由激光光源 1，隔离器 2，透镜 3，旋转底座 4，分束片 5，衰减片 6，CCD 图像传感器 7，样品台 8，二维步进电机 9，第一反射镜 10，第二反射镜 11，第三反射镜 12。其中，第一反射镜 10，第二反射镜 11 以及第三反射镜 12 用于监测透射型材料的光路中，而监测反射型材料的光路中则不需要这三个反射镜；激光光源 1 发出的激光通过透镜 3 后聚焦在安装在样品台 8 上的样品上；分束片 5 固定在旋转底座 4 上，样品台 8 固定在二维电机 9 上，二维电机 9 选用左右和上下移动的二维步进电机。

三、研究方法

本项目提出的可实现一种同步监测泵浦光斑与样品表面微结构的装置的方法，具体设计的方案已经落实完成并在实验室中成功开展运用，具体包括如下调整步骤：

1) 监测泵浦光斑：转动旋转底座将分束片转至与入射激光成 45 度夹角处，将光垃圾桶放置在样

品台前，激光通过分束片，一部分光束被反射经衰减片进入 CCD 图像传感器，通过 CCD 图像传感器监测捕捉泵浦光斑，另一部分光束透过分束片进入光垃圾桶中；

2) 反射型材料的表面微结构监测：转动旋转底座将分束片转至与入射激光成 135 度夹角，用光垃圾桶挡在分束片正上方，第一反射镜前；激光通过分束片，一部分光束透过分束片打在样品台上的样品上；部分激光被反射回来，经分束片反射后再经衰减片进入 CCD 图像传感器，通过 CCD 图像传感器监测采样样品表面微结构；另一部分光束将透过分束片进入隔离器；

3) 透射型材料的表面微结构监测：移出光垃圾桶，转动旋转底座将分束片转至与入射激光成 135 度夹角处，激光通过分束片，一部分光束透过分束片打在样品台上的样品上，另一部分光束则被反射到第一反射镜上，再经第二反射镜和第三反射镜，最终将这部分光束反射至样品的背面，透过样品再次被分束片反射经衰减片进入 CCD 图像传感器，通过 CCD 图像传感器监测采样样品表面微结构，多余光进入隔离器。

四、研究结果

在项目执行期内我们小组按照进度，已完成了项目的各项内容，目前成果如下：

1. 目前已在实验室完成了设计方案的实验研究，完成整体方案的实验室系统搭建工作，通过文献阅读、结合实验结果，解决可能存在的问题，初步应用于实验的改进，提高实验数据的采集效率，并通过实验进行验证，目前该装置已在实验室得到成功应用；
2. 通过与实验室的师兄合作，将我们的设计放到他的实验光路中去，使用效果良好，节约了数据采集时间，提高了效率；
3. 本项目设计采用的特殊加工的镜架和设计的光路目前已申请发明专利六项（发明专利受理通知书见附件）。

参考文献

- [1] Yan Peng, Ya Wen, DongSheng Zhang. Optimal proportional relation between laser power and pulse number for the fabrication of surface-microstructured silicon [J]. APPLIED OPTICS, 2011, 50(24): 4765~4768.
- [2] Yan Peng, DongSheng Zhang, HongYan Chen. Differences in the evolution of surface-microstructured silicon fabricated by femtosecond laser pulses with different wavelength [J]. APPLIED OPTICS, 2012, 51(5): 635~639.
- [3] L. Seongkuk, D. F. Yang, S. Nikumb. Femtosecond laser micromilling of Si wafers [J]. Appl. Surf. Sci., 2008, 254(10): 2996~3005.
- [4] Y. Peng, Y. Wen, D. S. Zhang, S. D. Luo, L. Chen, and Y. M. Zhu. Optimal proportional relation between laser power and pulse number for the fabrication of

- surface-microstructured silicon [J]. Appl. Opt., 2011, 50(24): 4765~4768.
- [5] Y. Peng, D. S. Zhang, H. Y. Chen, Y. Wen, S. D. Luo, L. Chen, K. J. Chen, and Y. M. Zhu. Differences in the evolution of surface-microstructured silicon fabricated by femtosecond laser pulses with different wavelength [J]. Appl. Opt., 2012, 51(5): 635~639.
 - [6] Y. Peng, Y. M. Zhu. Evolution of micro-spikes on silicon surface etched by femtosecond laser with different fabrication conditions [J]. Proc. of SPIE, 2012, 8271: 827101-1~827101-13.
 - [7] N. Takayuki, J. R. Qiu, C. H. Zhou et al. Fabrication of dammann gratings glasses by femtosecond laser [J]. Chin. Phys. Lett., 2004, 21(6): 1061~1063.
 - [8] B. R. Tull, J. E. Carey, E. Mazur et al. Silicon surface morphologies after femtosecond laser irradiation. MRS Bulletin, 2006, 31(8): 626~633.
 - [9] T. Samet, M. Halbwax, R. Torres et al. Femtosecond laser for black silicon and photovoltaic cells [C]. SPIE, 2008, 6881: 688119.
 - [10] Y. Peng, H. Y. Chen, C. G. Zhu, D. S. Zhang, Y. Y. Zhou, H. X., B. Cai, Y. M. Zhu. The effect of laser wavelength on the formation of surface-microstructured silicon [J]. Mater. Lett., 2012, 83(127).
 - [11] Y. Peng, M. Hong, Y. Yan Zhou, D. Fang, X. Q. Chen, B. Cai, and Y. M. Zhu. Influence of Femtosecond Laser Pulse Number on Spike Geometry of Microstructured Silicon [J]. Appl. Phys. Express, 6., 2013, 051303.
 - [12] C. H. Crouch, J. E. Carey, J. M. Warrender, et al. Comparison of structure and properties of femtosecond and nanosecond laser-structured silicon. Appl. Phys. Lett. 2004, 84(11): 1850~1852.
 - [13] D. von der Linde, K. Sokolowski-Tinten and J. Bialkowski: Appl. Surf. Sci. 109 (1997) 1-10.
 - [14] S. M. Sze and Kwok K. Ng, physics of semiconductor devices, Wiley, Hoboken, NJ, Canada 2007.
 - [15] M. J. Weber, Handbook of Optical Materials, CRC, NY, USA 2003.
 - [16] P. G. Maloney, P. Smith, V. King, C. Billman, M. Winkler, and E. Mazur: Appl. Opt. 49 (2010) 1065.
 - [17] R. A. Myers, R. Farrell, A. M. Karger, J. E. Carey, and E. Mazur: Appl. Opt. 45 (2006) 8825.
 - [18] P. M. Paul, E. S. Toma, P. Breger, G. Mullot, F. Audebert, P. Balcou, H. G. Muller, and P. Agostini, Science 292, 1689 (2001).
 - [19] F. Krausz and M. Ivanov, Rev. Mod. Phys. 81, 163 (2009).

- [20] M. Drescher, M. Hentschel, R. Kienberger, G. Tempea, C. Spielmann, G. A. Reider, P. B. Corkum, and F. Krausz, *Science* 291, 1923 (2001).
- [21] E. Balogh, K. Kovacs, P. Dombi, J. A. Fulop, G. Farkas, J. Hebling, V. Tosa, and K. Varju, *Phys. Rev. A* 84, 023806 (2011).
- [22] O. Tcherbakoff, E. Mevel, D. Descamps, J. Plumridge, and E. Constant, *Phys. Rev. A* 68, 043804 (2003).
- [23] F. Ferrari, F. Calegari, M. Lucchini, C. Vozzi, S. Stagira, G. Sansone, and M. Nisoli, *Nat. Photonics*, 4, 875 (2010).
- [24] E. J. Takahashi, P. Lan, O. D. Mücke, Y. Nabekawa, K. Midorikawa, *Nat. Comm.* 4, 2691 (2013).
- [25] C. Xia, G. Zhang, J. Wu, and X. Liu, *Phys. Rev. A* 81, 043420 (2010).
- [26] Z. Zeng, Y. Cheng, X. Song, R. Li, and Z. Xu, *Phys. Rev. Lett.* 98, 203901 (2007).
- [27] Y. Peng and H. Zeng, *Phys. Rev. A* 78, 033821 (2008).
- [28] W. Hong, P. Lu, P. Lan, Q. Zhang, and X. Wang, *Opt. Express* 17, 5139 (2009).
- [29] J. Dai, J. Liu, and X.-C. Zhang, *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of* 17, 183 (2011).
- [30] M. Clerici, M. Peccianti, B. E. Schmidt, L. Caspani, M. Shalaby, M. Giguere, A. Lotti, A. Couairon, F. Legare, T. Ozaki, D. Faccio, and R. Morandotti, *Phys. Rev. Lett.* 110, 253901 (2013).
- [31] K. L. Yeh, M. C. Hoffmann, J. Hebling, and K. A. Nelson, *Appl. Phys. Lett.* 90 (2007).
- [32] H. Hirori, A. Doi, F. Blanchard, and K. Tanaka, *Appl. Phys. Lett.* 98, 091106 (2011).
- [33] P. B. Corkum, *Phys. Rev. Lett.* 71, 1994 (1993).
- [34] S. Chelkowski, T. Zuo, and A. D. Bandrauk, *Phys. Rev. A* 46, R5342 (1992).
- [35] S. C. Rae, X. Chen, and K. Burnett, *Phys. Rev. A* 50, 1946 (1994).
- [36] K. C. Kulander, K. R. Sandhya Devi, and S. E. Koonin, *Phys. Rev. A* 25, 2968 (1982).
- [37] T. Pfeifer, L. Gallmann, M. J. Abel, P. M. Nagel, D. M. Neumark, and S. R. Leone, *Phys. Rev. Lett.* 97, 163901 (2006).

- [38] P. Li, and S. Chu, Phys. Rev. A 86, 013411 (2012).
- [39] W. Hong, P. Lu, P. Lan, Z. Yang, Y. Li, and Q. Liao, Phys. Rev. A 77, 033410 (2008).
- [40] T. Popmintchev, M. Chen, D. Popmintchev, P. Arpin, S. Brown, S. Ališauskas, G. Andriukaitis, T. Balčiunas, O. D. Mücke, A. Pugzlys, A. Baltuška, B. Shim, S. E. Schrauth, A. Gaeta, C. Hernández-García, L. Plaja, A. Becker, A. Jaron-Becker, M. M. Murnane, H. C. Kapteyn, Science 336, 1287 (2012).