

文章编号 1004-924X(2010)10-2231-08

电纺直写纳米纤维在图案化基底的定位沉积

李文望^{1,2}, 郑高峰¹, 王翔¹, 孙道恒¹

(1. 厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005; 2. 厦门理工学院机械工程系, 福建 厦门 361005)

摘要:为进一步提高单根电纺丝纳米纤维的定位沉积和形貌控制水平, 基于近场静电纺丝技术, 研究了单根直写纳米纤维在无图案硅基底的沉积行为; 仿真分析了图案化硅基底上方的空间电场分布; 采用图案化硅基底作为收集板, 实验考察了微图案形状、收集运动速度等因素对单根纳米纤维定位沉积的影响规律。实验结果显示, 电纺直写技术具有良好的定位精度, 可将直径为 100~800 nm 的纳米纤维精确定位于直径仅为 1.6 μm 的圆形微图案阵列上表面; 收集板运动速度较小时, 受电场力影响纳米纤维沉积轨迹将朝微图案偏移 7 μm ; 收集板运动速度进一步减小时, 纳米纤维在基底微图案附近或上表面产生聚集; 长条形微图案对纳米纤维沉积过程具有良好的引导与约束作用。得到的结果表明, 基于近场静电纺丝的直写技术可较好地实现单根纳米纤维在图案化硅基底的精确定位沉积。

关键词:近场静电纺丝; 纳米纤维; 定位沉积

中图分类号: TN405; TS101.32 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101810.2231

Position deposition of electrospinning direct-writing nanofiber on pattern substrate

LI Wen-wang^{1,2}, ZHENG Gao-feng¹, WANG Xiang¹, SUN Dao-heng¹

(1. *Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;*
2. *Department of Mechanical Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen 361005, China*)

Abstract: In order to improve the position deposition and morphology controlling of a single electrospun nanofiber in industrial applications, an electrospinning Direct-writing (DW) technology was studied further. Firstly, the DW technology based on the Near-Field Electrospinning (NFES) was utilized to investigate the deposition behavior of a single DW nanofiber on the flat silicon substrate. Then, the electrical field distribution above the patterned silicon substrate was simulated. Finally, patterned silicon substrate was used as a collector, and the effect of pattern structure and the motion speed of the collector on the position deposition of single DW nanofiber was analyzed. Experimental results demonstrate that the DW nanofiber with the diameter ranges from 100 nm to 800 nm can be deposited precisely on the top surface of a circle micro-pattern array with a diameter of 1.6 μm . When motion speed of the collector is lower than the electrospinning speed, the deposition location of DW nanofiber would deviate from the motion track and move from the pattern in 7 μm due to the electric field force. If the motion speed of the collector decreases further, more nanofiber would congregate around the micro

收稿日期: 2010-03-10; **修订日期:** 2010-04-12.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2007AA04Z308); 国家自然科学基金资助项目 (No. 50675184, 50875222); 福建省高校新世纪优秀人才支持计划项目 (2007); 福建省教育厅科技计划资助项目 (No. JA06060)

pattern or on the top surface of pattern. The strip pattern plays an excellent guiding and restricting role on the deposition of single DW nanofiber. It is concluded that the DW technology based on NFES can provide a simple way for the precise position of single nanofibers on patterned silicon substrates.

Key words: Near-Field Electrospinning(NFES); nanofiber; position deposition

1 引言

实现有机微纳米结构的快速、精确制造,是目前有机微纳米系统制造集成技术研究的热点问题,也是有机微纳米系统研究的重要内容^[1-3]。与传统 IC 工艺相比,直写技术不需要模板与光刻工艺,在降低生产成本、简化工艺流程、复杂精细图案和有机/柔性电子元件制造等方面都具有明显的优势^[4]是一种有效的微纳米结构制造技术。目前,该技术以其强大的应用发展潜力,吸引了众多研究者的关注。由于现有的直写技术,如激光直写^[5]、电子束直写^[6]等,设备和工艺流程仍较为复杂、制造效率较低,因此,开发一种简便、高效、适合于产业化应用的微纳米结构直写技术,便成为了目前微纳米制造领域的一个主要研究方向^[7]。

静电纺丝是利用静电力拉伸黏弹性溶液使其变形出现射流,从而实现纳米纤维喷射^[8]的纺丝方法。目前,应用这种方法已经有近百种天然和人工有机材料^[9]、陶瓷材料^[10]被成功地制备成纳米纤维。与其他直写技术相比,静电纺丝直写技术具有工艺简单、操作方便、制造速度快等优点;并且电纺直写纳米纤维直径小、比表面积大、孔隙率高,在众多领域具有广阔的应用前景。受空间电场分布、溶液特性等多方面因素的影响,静电纺丝过程存在不稳定喷射阶段;采用传统的静电纺丝方法,难以实现纳米纤维定点、有序可控地沉积,这极大地限制了静电纺丝技术的应用发展。特别是随着电纺纳米纤维在微能源^[4]、微型传感器^[11]、柔性电子^[12]、MEMS 系统^[13]等微纳米系统制造领域应用研究的不断深入,对单根电纺纳米纤维的有序可控沉积提出了更高的要求,实现单根纳米纤维的精确定位和形貌控制已经成为静电纺丝技术产业化应用的难点之一。

近场静电纺丝(Near-Field Electrospinning, NFES)^[14]的提出,克服了传统静电纺丝中带电射

流/纳米纤维分叉与无序运动的缺点,实现了单根纳米纤维在平面基底的有序收集,为纳米纤维在微纳米系统中的集成应用提供了良好的技术基础。目前,单根纳米纤维可控沉积的研究主要集中在无图案基底上纤维沉积形貌的分析,如:C. Hellmann^[15]基于 NFES 技术研究了单根纳米纤维在无图案基底上的沉积形貌,讨论了纳米纤维定位沉积形貌和分布范围的主要影响因素;C. Chang^[16]通过改进 NFES 技术,在无图案基底上实现了单根纳米纤维的连续喷射和图案化制备。研究单根纳米纤维在特定图案化基底的精确定位和基底上已有的微结构对纳米纤维沉积过程的影响,是实现电纺直写技术与其他微纳制造工艺相兼容以及实现微纳米系统集成的关键。

本文主要基于 NFES 技术,研究了单根直写纳米纤维在图案化硅基底上的定位沉积特性,分析了收集板运动速度、空间电场分布、基底上微图案的形状及位置分布等因素对纳米纤维定位沉积的影响,讨论了电纺直写纳米纤维定位沉积的控制规律。

2 实验设计

与传统电纺丝相比,NFES 采用实心喷头代替了传统电纺丝的空心喷头,喷头至收集板距离缩小至 0.5~3 mm,并降低了施加的电压,充分利用喷头下方的直线稳定射流,实现了单根纳米纤维的有序沉积。实验装置如图 1 所示,主要包括:实心探针喷头(针尖直径 40 μm),蘸取聚合物溶液和喷射纳米纤维;XY 运动平台(TR11&TR07, Parker,运动速度 0~1 m/s),使收集板可在 XY 平面内进行运动和定位,从而控制电纺直写纳米纤维的沉积位置;高压直流电源(天津东文高压电源厂,0~40 kV),产生高压静电,拉伸聚合物溶液使其变形发生喷射;显微镜,观测电纺直写过程中聚合物溶液的变形、喷射及

纳米纤维的沉积情况。实验中,喷丝头与收集板之间的距离在 0.5~5 mm 可调;采用聚氧化乙烯 (Polyethylene Oxide(PEO),天津市大地精细化工公司, Mw: 300,000) 溶液作为电纺丝溶液, 聚合物溶液质量百分数为 18%~20%, 溶剂为去离子水与乙醇混合液(体积比为 4:6)。根据 NFES 原理,电纺直写过程将探针针尖浸入高分子溶液, 采用类似笔尖蘸取墨水的形式蘸取高分子溶液进行离散性补液,在高压静电的作用下实现纳米纤维的直写喷射。

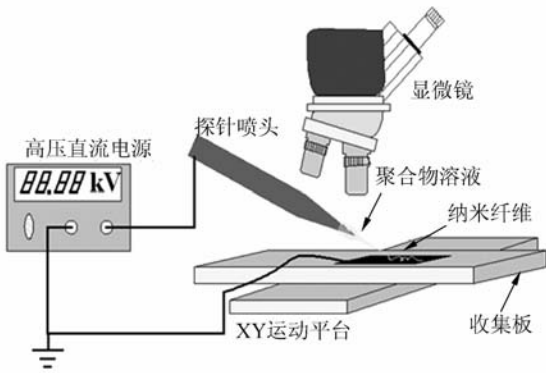


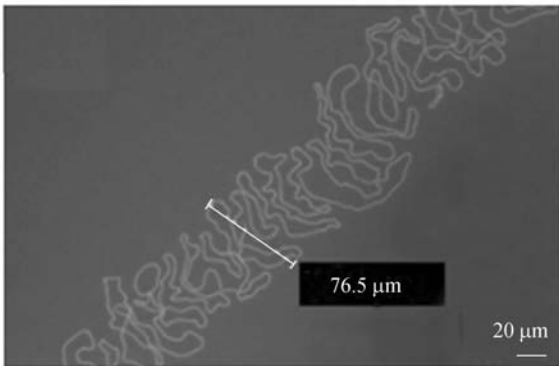
图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experiment setup

3 结果讨论

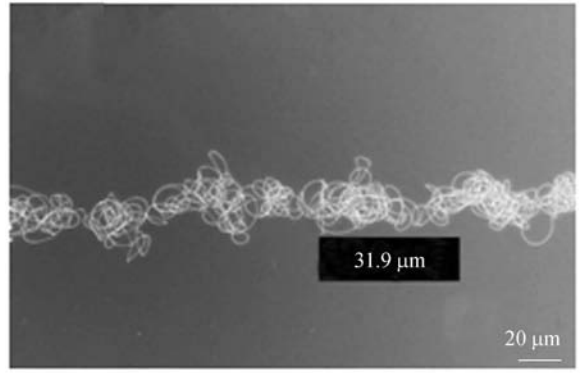
3.1 收集板运动速度

为更好地研究纳米纤维的定位沉积特性,首先采用无图案平面基底作为收集板,分析了收集板运动速度对纳米纤维沉积规律的影响,如图 2



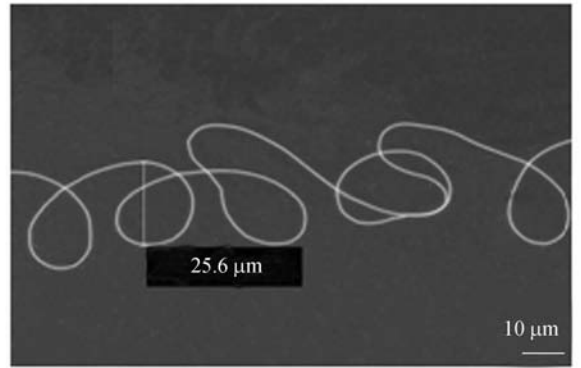
(a) 沉积于 SiO₂ 基底的纳米纤维带

(a) Nanofibrous nonwoven deposited on SiO₂ substrate



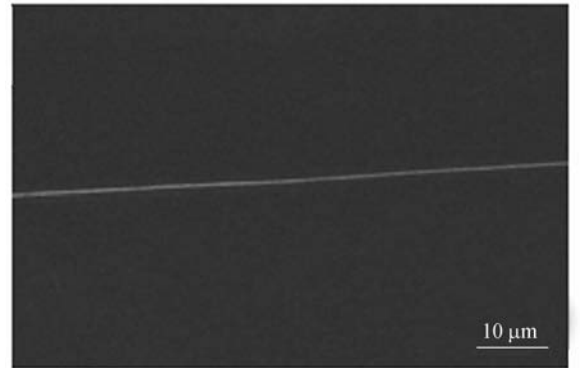
(b) 沉积于 Si 基底的纳米纤维带

(b) Nanofibrous nonwoven deposited on Si substrate



(c) 沉积于 Si 基底的螺旋纳米纤维

(c) Helical nanofiber deposited on Si substrate



(d) 沉积于 Si 基底的直线纳米纤维

(d) Straight nanofiber deposited on Si substrate

图 2 沉积于平面基底的纳米纤维

Fig. 2 Nanofibers deposited on flat substrate

所示,实验采用的喷头针尖直径、喷头至收集板距离、施加电压、溶液浓度分别为 40 μm, 1 mm, 1.7 kV 和 18%。

在电纺丝过程中,随着带电纳米纤维的沉积,收集板上将产生电荷积累,并将影响后续纳米纤维的空间运动轨迹和在收集板上的分布形貌。当

收集板运动速度较小时,纳米纤维受电荷排斥影响较大,偏离收集板运动轨迹,在收集板上形成无序纤维带,如图 2(a),(b)所示。此时,收集板运动速度为 8 cm/s。 SiO_2 基底导电率较小,电荷传导速度慢,在相同电纺条件下, SiO_2 基底将比 Si 基底积累更多的电荷。受较大电荷排斥力的作用,在 SiO_2 基底上形成的纤维带的宽度和纤维间距较大,纤维无堆积现象,如图 2(a)所示;而在相同条件下,纳米纤维在 Si 基底上出现了堆积现象,如图 2(b)所示。

随着收集板运动速度的增加,纳米纤维沉积位置变化速度快,纤维沉积点附近积累的电荷量少,纳米纤维受电荷排斥力的影响也逐渐减小, Si 基底上纳米纤维将由纤维带结构转变为螺旋状结构,如图 2(c)所示。此时,收集板运动速度为 20 cm/s。当收集板运动速度进一步增大到与电纺丝喷射速度相匹配时,受喷头拉伸力的作用可在 Si 基底上获得直线状纳米纤维结构,如图 2(d)所示。此时,收集板运动速度为 35 cm/s。

由实验可知,收集板运动速度大于电纺丝喷射速度时,带电射流受喷头拉伸力的作用纳米纤维沉积轨迹不易发生变化;而当收集板运动速度小于电纺丝喷射速度时,沉积轨迹易受到电荷排斥力、空间电场分布等因素的影响而发生改变。

3.2 图案化基底

采用图案化基底作为收集板,以进一步研究纳米纤维定位沉积规律。首先,利用 ANSYS 软件对图案化基底上方的空间电场分布进行仿真分析,空间电场分布如图 3 所示。仿真结果表明,微图案上方电场强度较强,且附近电场线指向微图

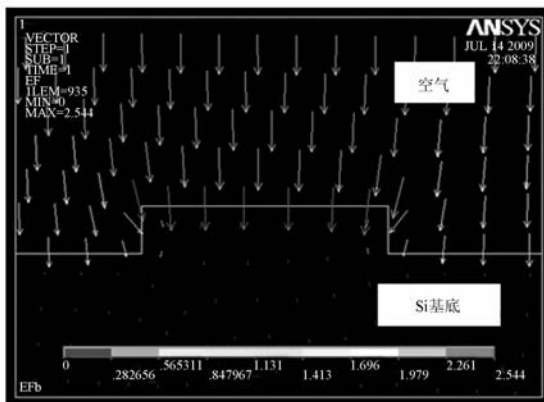
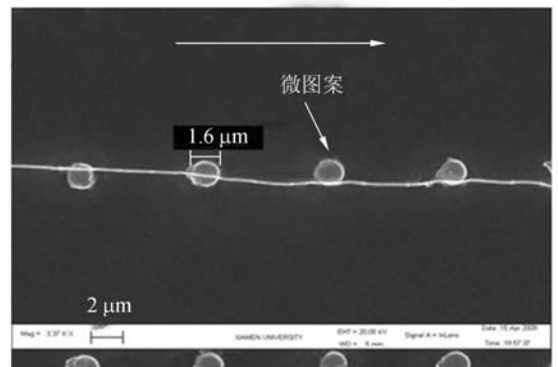


图 3 图案化硅基底上方的电场分布仿真

Fig. 3 Simulation of electrical field above patterned substrate

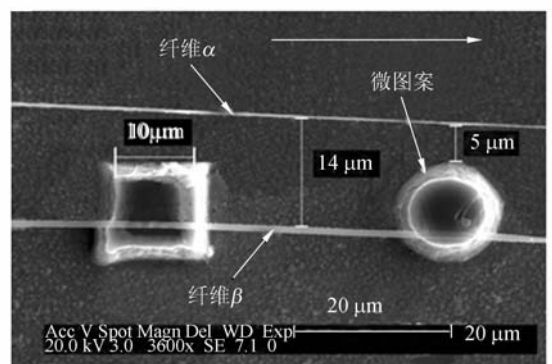
案表面。电纺丝过程中,带有正电荷的纺丝射流或纳米纤维受空间电场分布的影响具有朝微图案表面运动的趋势。通过调节喷头与收集板间的相对位置,可实现直写纳米纤维在图案化基底上的定位沉积,如图 4 所示。

研究表明,基于 NFES 的电纺直写技术具有很好的定位精度,可将纳米纤维沉积于直径仅为 $1.6 \mu\text{m}$ 的微台阵列上方,如图 4(a)所示,图中收集板运动速度和微图案深度分别为 30 cm/s 和 $2 \mu\text{m}$ 。采用不同的收集板运动速度,进一步研究了基底上微图案对单根纳米纤维沉积规律的影响。收集板运动速度为 35 cm/s 时,可获得如图 4(b)所示的直线状纳米纤维,两纳米纤维相距 $14 \mu\text{m}$,其中纤维 α 与微图案相距 $5 \mu\text{m}$,纤维 β 横跨于两个微图案的上方,图中微图案直径和深度分别为 $10 \mu\text{m}$ 和 $5 \mu\text{m}$ 。由于受较大拉伸力的作用,两纳米纤维沉积轨迹皆没有发生偏转。保持喷头与收集板相对运动轨迹不变,收集板分别以 25 cm/s 和 35 cm/s 的运动速度直写出 δ 和 γ 两纳米纤



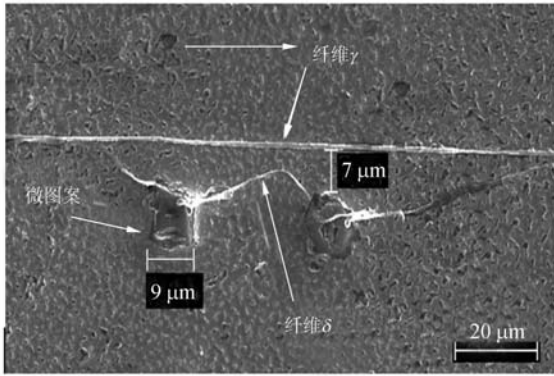
(a) 微台阵列上方的纳米纤维

(a) Nanofiber deposited on top surface of micro-pattern array



(b) 平行直写纳米纤维

(b) Two parallel nanofibers



(c)不同收集板运动速度直写的两根纳米纤维

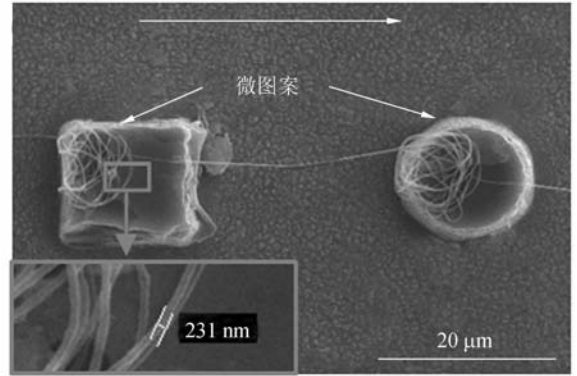
(c) Two nanofibers direct-written under different collector motion speeds

图 4 直写于图案化硅基底的纳米纤维

Fig. 4 Nanofiber deposited on patterned silicon substrate

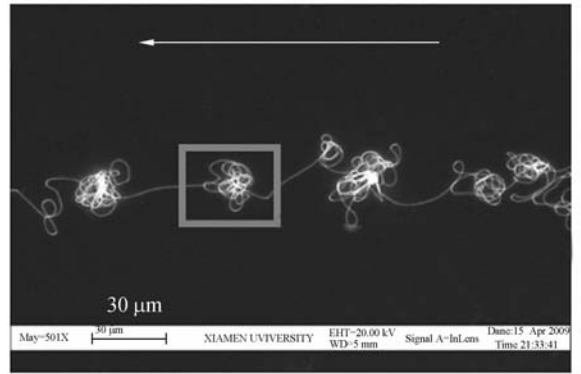
维,如图 4(c)所示,图中微图案深度为 $3\ \mu\text{m}$ 。收集板运动速度小于电纺丝速度时,纳米纤维受喷头拉伸力小,处于松弛状态,沉积轨迹易受空间电场分布的影响发生改变。纳米纤维 δ 沉积轨迹朝微图案方向偏移了 $7\ \mu\text{m}$,沉积在两微台图案之上;而收集板运动速度为 $35\ \text{cm/s}$ 时,纳米纤维 γ 的沉积轨迹依然保持直线未发生偏移。图 4 中喷头针尖直径、喷头至收集板距离、PEO 溶液浓度和施加电压分别为 $40\ \mu\text{m}$, $1\ \text{mm}$, 20% 和 $1.7\ \text{kV}$ 。实验研究中,收集板始终沿直线轨迹运动,图中空心箭头指向收集板运动方向。

当收集板运动速度进一步减小时,纳米纤维受电场力和纤维自身弹力作用而在图案化硅基底上产生聚集现象,如图 5 所示。当微图案上表面积较大时,纳米纤维在微图案上表面产生聚集,如



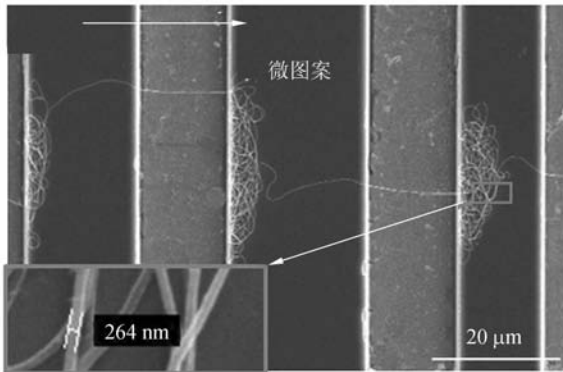
(b)聚集于台状微图案上表面的纳米纤维

(b) Nanofiber aggregated on top surface of stage micro-pattern



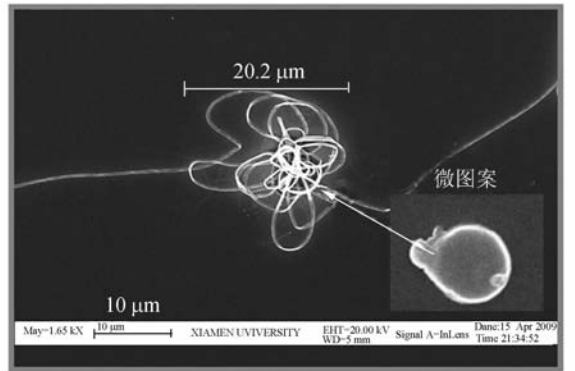
(c)聚集于微图案附近的纳米纤维

(c) Nanofiber aggregated around micro-pattern



(a)聚集于长条形微图案上表面的纳米纤维

(a) Nanofiber aggregated on top surface of strip micro-pattern



(d)(c)图中矩形部分的局部放大

(d) Magnification for rectangle in (c)

图 5 聚集于图案化硅基底的纳米纤维

Fig. 5 Nanofibers aggregated on patterned silicon substrate

图 5(a), (b) 所示, 收集板运动速度、微图案深度和 PEO 溶液浓度分别为 10 cm/s , $2 \mu\text{m}$ 和 18% 。受已沉积纳米纤维拉力和运动惯性的影响, 微图案上表面纳米纤维聚集区域将朝背向运动方向一侧偏移。当微图案上表面积较小时, 纳米纤维会在微图案附近产生聚集, 如图 5(c), (d) 所示, 此时收集板运动速度、微图案深度、微图案直径和 PEO 溶液浓度分别为 20 cm/s , $2 \mu\text{m}$, $1.6 \mu\text{m}$ 和 20% 。图 5(c), (d) 中纳米纤维聚焦区域宽度为 $20.2 \mu\text{m}$, 微图案已全部被纳米纤维所覆盖。图 5 中喷头针尖直径、喷头至收集板距离和施加电压分别为 $40 \mu\text{m}$, 1 mm 和 1.7 kV 。

当收集板运动方向与条形微图案平行时, 受空间电场分布的影响, 微图案将引导纳米纤维沿其上表面产生沉积, 如图 6 所示。此时, 微图案宽度为 $5.15 \mu\text{m}$, 收集板运动速度为 20 cm/s 。微图案上方电场分布对纳米纤维沉积还具有约束作用, 图 6 中纳米纤维分布区域仅限于微图案上表面; 而在相同的收集板运动速度条件下, 纳米纤维在无图案平面硅基底收集板上的分布范围宽度可达 $25.6 \mu\text{m}$ (如图 2c)。图 6 中微图案深度、喷头针尖直径、喷头至收集板距离、PEO 溶液浓度和施加电压分别为 $5 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$, 1 mm , 18% 和 1.7 kV 。为进一步研究微图案对纳米纤维沉积的引导性作用, 采用了具有弧形微图案的硅基底作为收集板, 直写纳米纤维沉积轨迹跟随弧形微图案上表面发生变化, 表现出很好的跟随性, 如图 7 所示。其中微图案深度、微图案宽度、喷头针尖直径、喷头至收集板距离、收集板运动速度、PEO 溶液浓度和施加电压分别为 $5 \mu\text{m}$, $5.15 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$, 1 mm , 28 cm/s , 18% 和 1.7 kV 。

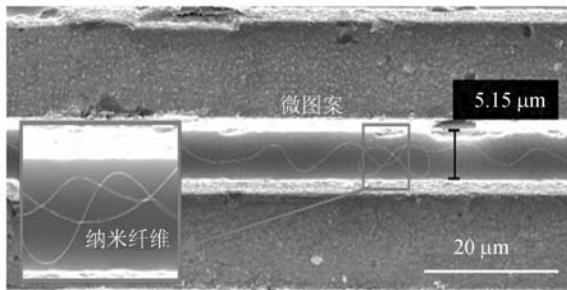
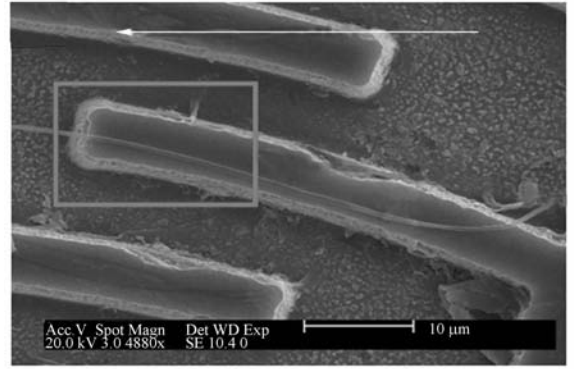


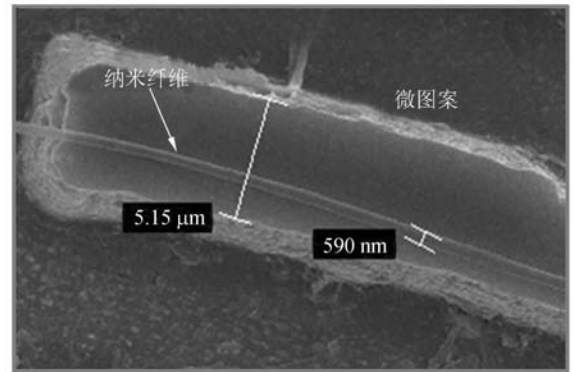
图 6 沉积于条形微图案上表面的纳米纤维

Fig. 6 Nanofiber deposited on top surface to strip pattern



(a) 纳米纤维在弧形微图案上表面沉积

(a) Nanofiber deposited on top surface of arc micro-pattern



(b) (a) 图中矩形部分的局部放大图

(b) Magnification for rectangle in (a)

图 7 纳米纤维在弧形微图案上的表面沉积及其局部放大
Fig. 7 Nanofiber deposited on top surface of arc micro-pattern and its local magnification

4 结 论

本文采用 NFES 技术研究了单根纳米纤维在图案化基底的定位沉积规律, 讨论了收集板运动速度、空间电场分布、微图案形态等因素对纳米纤维沉积过程的影响。

基于 NFES 的电纺直写技术可获得直径 $100 \sim 800 \text{ nm}$ 的单根有序纳米纤维; 收集板运动速度大于电纺丝速度时, 受喷头较大拉伸力的作用, 可克服电场力及电荷力的影响而形成直线状纳米纤维。实验表明, 电纺直写技术具有良好的定位精度, 可将纳米纤维精确定位于直径仅为 $1.6 \mu\text{m}$ 微图案阵列上方。收集板运动速度较小时, 受电

场力影响纳米纤维沉积轨迹将朝微图案偏移 $7\ \mu\text{m}$ 。当收集板运动速度进一步减小时,纳米纤维在基底微图案附近或上表面产生聚集;微图案上表面纳米纤维聚集区域朝背向收集板运动方向一侧发生偏移。受空间电场分布的影响,条形微图案对纳米纤维沉积具有良好的导向性和约束性作用,宽度为 $5.15\ \mu\text{m}$ 的弧形微图案可引导纳米纤维

沉积轨迹沿其上表面发生改变,实现跟随沉积;且纳米纤维沉积仅限于微图案上表面,相比于无图案基底纳米纤维分布区域宽度有明显减小。

本项研究有利于加深对电纺直写纳米纤维精确定位控制规律的理解,为电纺丝技术的工业化应用积累了经验。下一阶段,将开展单根纳米纤维沉积形貌控制的研究。

参考文献:

- [1] 申溯,周雷,魏国军,等. 微区微纳米压印技术及设备[J]. 光学精密工程, 2009,17(4):807-812.
SHEN S, ZHOU L, WEI G J, *et al.*. Design of distributed micro-area micro/nano-imprinting lithographic system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(4):807-812. (in Chinese)
- [2] 刘海涛,温志渝,徐溢,等. 低电压电泳芯片非接触电导检测电路设计[J]. 光学精密工程, 2009,17(7):1640-1645.
LIU H T, WEN ZH Y, XU Y, *et al.*. Design of contactless conductivity detecting circuit for electrophoresis chip [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(4):570-579. (in Chinese)
- [3] DANIEL M K, NICOLE G, HARALD D, *et al.*. Direct fabrication of micro/nano fluidic channels by electron beam lithography [J]. *Microelectron. Eng.*, 2009,86(4-6):1314-1316.
- [4] CHANG C, TRAN V H, WANG J B, *et al.*. Direct-write piezoelectric polymeric nanogenerator with high energy conversion efficiency [J]. *Nano. Lett.*, 2010,10(2):726-731.
- [5] 金占雷,谭久彬,张山,等. 激光直写中 S 曲线光强控制模型的参数优化[J]. 光学精密工程, 2008,16(4):570-579.
JIN Z L, TAN J B, ZHANG S, *et al.*. Optimization of S-curve intensity control model for laser direct writing [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(4):570-579. (in Chinese)
- [6] UTKE I, HOFFMANN P, MELNGAILIS J. Gas-assisted focused electron beam and ion beam processing and fabrication [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 2008,26(4):1197-1276.
- [7] ZHANG Y, LIU C Q, WHALLEY D. Direct-write techniques for maskless production of microelectronics: A Review of Current State-of-the-Art Technologies [C]. *International Conference on Electronic Packaging Technology and High Density Packaging, ICEPT-HDP. Beijing, China*, 2009: 497-503.
- [8] FENG C, KHULBE K C, MATSUURA T. Recent progress in the preparation, characterization, and applications of nanofibers and nanofiber membranes via electrospinning/interfacial polymerization [J]. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2010,115(2):756-776.
- [9] ANDREAS G, JOACHIM H W. Electrospinning: a fascinating method for the preparation of ultrathin fibers [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2007,46(30):5670-5703.
- [10] LI D, WANG Y L, XIA Y N. Electrospinning of polymeric and ceramic nanofibers as uniaxially aligned arrays [J]. *Nano. Lett.*, 2003,3(8):1167-1171.
- [11] GU F, ZHANG L, YIN X, *et al.*. Polymer single-nanowire optical sensors [J]. *Nano. Lett.*, 2008,8(9):2757-2761.
- [12] 郑高峰,王凌云,孙道恒. 基于近场静电纺丝的微/纳米结构直写技术[J]. 纳米技术与精密工程, 2008,6(1):20-23.
ZHENG G F, WANG L Y, SUN D H. Micro/Nano-structure direct-write technology based on Near-Field Electrospinning[J]. *Nanotechn. Precision Eng.*, 2008,6(1):20-23. (in Chinese)
- [13] LEE S H, LIMKRAILASSIRI K, GAO Y, *et al.*. Chip-to-chip fluidic connectors via Near-Field Electrospinning[C]. *Proceedings of 20th IEEE Micro Electro Mechanical Systems Conference, Kobe, Japan*, 2007:61-64.
- [14] SUN D H, CHANG C, LI S, *et al.*. Near-Field

Electrospinning [J]. *Nano. Lett.*, 2006 6(4): 839-842.

- [15] HELLMANN C, BELARDI J, DERSCH R, *et al.*. High precision deposition electrospinning of nanofibers and nanofiber nonwovens [J]. *Poly-*

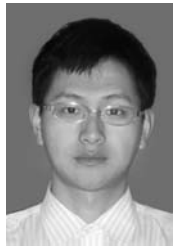
mer, 2009,50(5):1197-1205.

- [16] CHANG C, LIMKRAILASSIRI K, LIN L W. Continuous near-field electrospinning for large area deposition of orderly nanofiber patterns [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2008,93(12):123111.

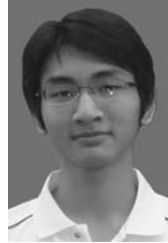
作者简介:



李文望 (1966—), 男, 福建泉州人, 副教授, 1987 年于福州大学获学士学位, 2002 年于厦门大学获硕士学位, 主要从事快速原型与逆向工程、微机电系统、静电纺丝的应用等方面的研究。E-mail: xmlww@xmut.edu.cn



郑高峰 (1984—), 男, 福建泉州人, 博士研究生, 2006 年于武汉科技大学获学士学位, 主要从事静电纺丝技术和有机微纳米系统制造方面的研究。E-mail: zhgffj@yahoo.com.cn



王翔 (1987—), 男, 福建惠安人, 硕士研究生, 2008 年于厦门大学获得学士学位, 主要从事聚合物微喷印方面的研究。E-mail: hayzwx@163.com

导师简介:



孙道恒 (1964—) 男, 安徽人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 1987 年、1990 年、1997 年于东北大学分别获得学士、硕士、博士学位, 2004~2005 年作为访问学者于加州大学伯克利分校机械工程系从事 MEMS/NEMS 研究, 现为厦门大学机电工程系主任, 主要从事微米/纳米集成与封装、聚合物纳米结构及其应用、微纳生物医学传感器与执行器等方面的研究。E-Mail: sundh@xmu.edu.cn

● 下期预告

神光-III 原型装置 VISAR 光学系统设计

闫亚东¹, 张法全², 何俊华¹, 齐文博¹

- (1. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119;
2. 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林, 541004)

基于激光多普勒频移效应研制了一套应用于惯性约束聚变(ICF)研究的干涉测速系统。采用 532 nm 的照明激光设计了一套光谱带宽为 0.2 nm 的光学系统, 通过合理选材, 保证了光学系统的防辐射性能; 通过光学膜系设计, 滤除了 526 nm 的强干扰打靶激光以及其它波段的杂散光; 采取模块化设计, 并设计光学铰链进行模块对接, 简化了系统调试的复杂程度。对干涉仪首先利用激光粗调, 再利用白光精调, 实现了零程差调试。系统光路总长为 6.3 m, 物方视场范围为 $\varphi 1.0$ mm, 放大倍率为 $5\times, 10\times$, 静态实验干涉条纹平直, 调制度达到 0.67 以上, 物方分辨率达到 $5.3 \mu\text{m}$ 。