

一种用扫描电镜制作表面纳米结构的方法^{*}

朱念麟¹ 张 晋^{1,†} 陈尔纲¹ 柏 晗¹ 张 茜¹ 王光灿¹ 郭俊梅² 窦菊英¹

(1 云南大学物理系, 昆明 650091)

(2 贵研铂业股份有限公司, 昆明 650221)

摘要: 提出了一种用扫描电镜制作表面量子点、纳米孔和纳米线阵列的方法, 该方法是在数字式扫描电镜的阴极自偏压电路中串联一个可控的负电压发生器, 其内阻远小于自偏压电阻; 用扫描电镜本身的行扫描时钟信号作为控制信号, 经倍频和放大, 加到电子枪栅极上控制电子束的通断, 使电子束由连续扫描变为规则的点、线扫描, 不用模板即可以“直写”方式在涂有电子束光刻胶 (PMMA) 的样品上实现点、线曝光, 形成周期性量子点、纳米孔和纳米线阵列。

关键词: 数字式扫描电镜; 负电压发生器; 表面纳米阵列; 电子束刻蚀

PACC: 6146

中图分类号: TN405

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0186-03

1 引言

纳米量级结构作为研究微观量子世界的重要基础之一, 其制作技术是整个纳米技术的核心基础。纳米光刻技术是纳米结构制作的常用方法, 它包括波前工程、电子束光刻、离子束光刻、X 射线光刻、原子光刻、干涉光刻、极紫外光刻等。它们都有望实现纳米量级的图形制作, 但各种技术可实现的分辨率极限有所不同。50nm 以上分辨率可用 193nm 光刻结合波前工程^[1] 和干涉光刻^[2] 实现, 约 50nm 的分辨率可用极紫外光刻^[3]。而电子束光刻、离子束光刻、X 射线光刻、原子光刻可望实现几个纳米的分辨率。但这些技术的完善还有待于光学系统、抗蚀剂、精密控制等相关技术的成熟。近年来, 大规模集成电路和纳米器件快速发展, 光学光刻的分辨率已经满足不了需要。由于电子束的分辨率可达几个纳米量级, 在研制集成电路和纳米器件过程中, 电子束光刻是最有效的方法之一。电子束曝光技术发展的一个新方向是采用扫描隧道显微镜作为曝光手段, 以实现原子级分辨率^[4]。然而, 这方面的研究还处于初级阶段, 真正实现能够适用于纳米加工的电子束曝光技术还存在效率低、成本高的问题。为了克服高分辨光刻的产量和效率问题, 目前一个主要的研究方向是采用平行直写阵列方式来成倍提高写速度, 基于微机械技术的扫描探针显微镜光刻技术 (μ -

SPM) 的最小线宽可小于 30nm, 并且可使写速度变得非常快^[5~7]。可是, 成本高仍然是存在的问题。

本文提出一种用扫描电子显微镜 (简称扫描电镜) 制作表面纳米阵列的简便方法, 该方法采用常规数字式扫描电镜的行扫描时钟信号作为控制信号, 经过倍频和放大加到扫描电镜的电子枪栅极上, 控制电子束的通断, 使电子束由连续扫描变为规则的点、线扫描, 不用模板, 即可以“直写”方式直接在涂有电子束光刻胶的样品上实现点、线曝光, 形成周期性量子点、纳米孔和纳米线阵列。

2 电路控制原理

本文所述的方法是利用扫描电镜具有宽扫描和高分辨率的特点, 在扫描电镜的阴极自偏压电路中串联一个可控的负电压发生器, 其内阻远小于自偏压电阻, 如图 1 所示。该负电压发生器由倍频电路、压控振荡器、升压变压器、整流电路和传统自偏压电阻组成。用扫描电镜本身的行扫描时钟信号作为控制信号, 经倍频电路后与压控振荡器的输入端相连, 再经过压控振荡器及升压整流电路放大后, 与扫描电镜的栅极自偏压叠加, 接在扫描电镜的阴极和栅极之间。当负电压发生器不产生负电压时, 扫描电镜正常工作。当它产生负电压时, 此电压足以抑制从扫描电镜的电子枪阴极发出的电子束无法穿越栅极。由于负电压发生器输出的方波信号频率与扫描电镜

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 60261004, 60361001, 10664006), 云南省自然科学基金 (批准号: 2002E0008M) 和北京市传感器重点实验室开放课题 (批准号: 66062022) 资助项目

[†] 通信作者, Email: zhangjin@vip.km169.net
2005-12-17 收到

本身的行扫描信号频率成整数倍,因而,可使电子束从连续扫描调整为规则的点、线扫描,在涂有电子束

光刻胶的样品表面制作出径向尺度和间距均为纳米级的周期性量子点、纳米孔和纳米线阵列。

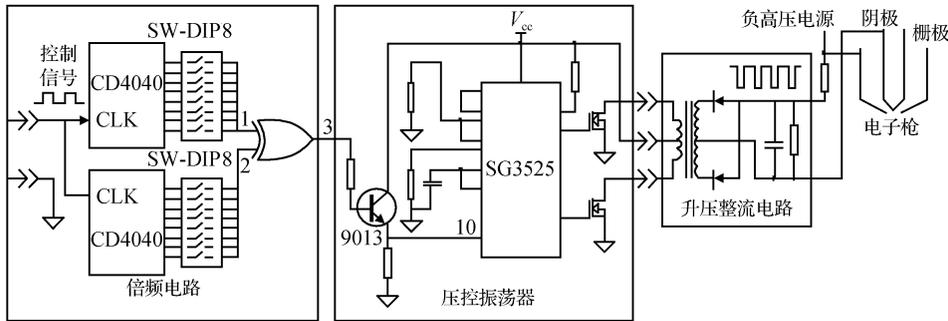


图1 负电压发生器

Fig.1 Negative bias voltage generator

以上所述的负电压发生器的关键部分是倍频电路和压控振荡器,下面分别进行描述。

如图1所示,负电压发生器的倍频电路由两个集成块CD4040、两个开关元件SW-DIP8和一个异或门组成。其中CD4040的不同抽头对应于行扫描时钟信号的不同倍数的频率,采用两个开关SW-DIP8分别控制电子束的 x 、 y 扫描频率。如果两个开关SW-DIP8中只有一个的某一项闭合,则电子束在样品表面扫描形成的电子束曝光图案为一维周期性纳米线阵列。如果两个SW-DIP8都闭合频率相同的那一项,就可同时控制扫描电镜 x 、 y 方向电子束扫描的通断,使电子束曝光图案为明暗相间的二维方格阵列;若两个SW-DIP8闭合一项但频率不相同,则曝光图案为二维矩形阵列。不论是方格还是矩形,当样品上的电子束光刻胶为正胶时,电子束曝光均可形成二维纳米孔阵列;而当样品表面为负胶时,形成周期性量子点或纳米柱阵列。

负电压发生器中的压控振荡器用脉宽调制集成电路SG3525和功率场效应管MOSFET N组成,如图1所示。当集成块SG3525的第10端为低电平时,SG3525有方波输出,驱动升压变压器产生负电压,抑制电子束穿越栅极。当控制信号经过三极管9013使第10端为高电平时,SG3525无输出信号,负电压发生器不产生负电压,此时,扫描电镜正常工作。

3 实验结果

本文采用Cambridge STEREOSCAN 100数字式扫描电镜作为曝光系统,在扫描电镜的阴极自偏压电路中串联图1所示的负电压发生器,在涂有电子束光刻胶的硅片上实现点、线曝光,经显影、定影制成的周期性量子点、纳米孔和纳米线阵列。在扫描电镜的电子束电压为30kV,束流量为0.0215nA,倍

率为1000的条件下,选用感光度为 $160\mu\text{As}/\text{cm}$ 的光刻胶,制作尺寸约为100nm的纳米结构,其微结构的几何形态用PHILIPS XL 30S扫描电镜表征。

图2是用上述方法制备的纳米线、纳米孔和量子点阵列的SEM像。其中图2(a)和(d)用的电子束光刻胶为负胶,图2(b)和(c)用正胶(PMMA)。图2(a)和(b)是负电压发生器的倍频电路各采用一个SW-DIP8开关分别控制电子束的 x 、 y 扫描频率而获得的一维周期性纳米线阵列,其线宽均为95nm,周期均为495nm;图2(c)和(d)是负电压发生器的倍频电路同时采用两个SW-DIP8开关,并且两个开关都闭合频率相同的一项,同时控制扫描电镜 x 、 y 方向电子束扫描的通断,使电子束曝光图案为明暗相间的二维正方格子,在涂有正、负两种电子束光刻胶的硅片上扫描而获得的周期性纳米孔和量子点阵列。图2(c)中的纳米孔孔径为171.5nm, x 方向的孔间距为103.2nm;图2(d)中的量子点尺寸基本相同,形状略有差异,多数量子点趋于圆形,其直径约为95.3nm。

4 结论

本文提出了一种制作表面纳米阵列的简便方法,该方法是在常规数字式扫描电镜的阴极自偏压电路中串联一个可控的负电压发生器,将扫描电镜本身的行扫描时钟信号作为控制信号,经倍频和放大之后,与扫描电镜的栅极自偏压叠加,接到电子枪的阴极和栅极之间,以控制扫描电镜 x 、 y 方向电子束扫描的通断,使电子束从连续扫描调整为规则的点、线扫描,在涂有正、负电子束光刻胶的样品表面曝光,便可以“直写”方式制作出周期性的量子点、纳米孔和纳米线阵列。此方法利用了扫描电镜具有宽扫描和高分辨率的特点,既提高了电子束光刻的分辨率,又降低了电子束光刻制作纳米结构的成本。

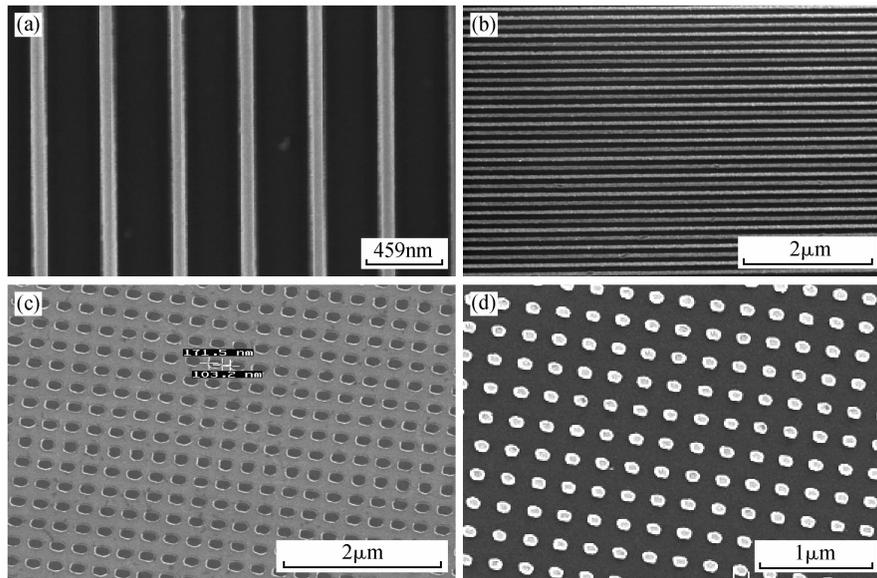


图 2 用扫描电镜制作的表面纳米线、纳米孔和量子点阵列 (a),(b)纳米线;(c)纳米孔;(d)量子点

Fig.2 Surface nanostructure arrays fabricated by SEM (a),(b)Nanowires;(c)Nanoholes;(d)Quantum dots

参考文献

- [1] Luo Xiangang, Yao Hanmin, Yan Peiying, et al. Nanolithography technology. *Physics*, 2000, 29(6): 358 (in Chinese) [罗先刚, 姚汉民, 严佩英, 等. 纳米光刻技术. *物理*, 2000, 29(6): 358]
- [2] Hyvarinen J, Karlsson M. Low-resistance skin points that may coincide with acupuncture loci. *Med Biol*, 1977, 55: 88
- [3] Cardner E. Multiconnected neural network models. *J Phys A: Math Gen*, 1987, 20: 3453
- [4] Snow E S, Campbel P M, McMarr P J. Fabrication of silicon nanostructures with a scanning tunneling microscope. *Appl Phys Lett*, 1993, 63 (6): 749
- [5] Wada Y. Possible application of micromachine technology for nanometer lithography. *Microelectronics Journal*, 1998, 29(9): 601
- [6] Marchi F, Tonneau D, Dallaporta H, et al. Nanometer scale patterning by scanning tunneling microscope assisted chemical vapour deposition. *Microelectron Eng*, 2000, 50: 59
- [7] Tucker J R, Shen T C. Prospects for atomically ordered device structures based on STM lithography. *Solid State Electron*, 1998, 42(7/8): 1061

Fabrication of Surface Nanostructures Using Scanning Electron Microscope*

Zhu Nianlin¹, Zhang Jin^{1,†}, Chen Ergang¹, Bai Han¹, Zhang Xi¹,
Wang Guangcan¹, Guo Junmei², and Dou Juying¹

(1 Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091, China)

(2 Sino-Platinum Metals Co., Ltd., Kunming 650221, China)

Abstract: We present a new method to fabricate PMMA 1D and 2D periodic nanostructures at the tens-to-hundreds of nanometers scale using the calibrating sign of a digital scanning electron microscope (SEM). In our work, a controllable negative bias voltage generator is cascaded into the cathode self-bias-voltage circuits of SEM, and its internal resistance is far smaller than the self-bias-voltage resistance. The SEM works normally when the generator do not produce negative bias voltage. Once the negative bias voltage is generated, it will restrain electrons emitted from the cathode not passed the grid. The resulting patterning of PMMA-1D and 2D periodic nanostructures are formed by electron beam scanning in the modified SEM.

Key words: digital SEM; negative bias voltage generator; surface nanostructure array; e-beam lithography

PACC: 6146

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0186-03

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60261004, 60361001, 10664006), the Natural Science Foundation of Yunnan Province (No. 2002E0008M), and the Open Foundation of Beijing Sensor Key Laboratory (No. 66062022)

† Corresponding author. Email: zhangjin@vip.km169.net

Received 17 December 2005