

功率参数对光电薄膜 Mg_2Si 择优取向的影响

余志强¹, 谢 泉²

(1. 湖北民族学院 电气工程系, 湖北 恩施 445000; 2. 贵州大学 理学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:采用射频磁控溅射设备,在硅(111)衬底上制备了光电半导体薄膜 Mg_2Si 。通过 X 线衍射仪(XRD)和场致发射扫描电子显微镜(FESEM)对 Mg_2Si 的晶体结构和微观形貌进行了表征,研究了功率参数对光电半导体薄膜 Mg_2Si 外延择优取向的影响。结果表明,在 60~90 W 的溅射功率范围内,硅基外延 Mg_2Si 具有 $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ 的外延择优生长特性,且随着溅射功率的增加 $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ 晶面的衍射峰强度先增大后减小,在 70 W 溅射功率下 $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ 晶面的衍射峰强度最强。

关键词:射频磁控溅射;硅化二镁;功率参数;择优取向

中图分类号:O484.1

文献标识码:A

Effects of Sputtering Power on Preferred Orientation of Semiconductor Optoelectronics Mg_2Si Films

YU Zhiqiang¹, XIE Quan²

(1. Dept. of Electrical Engineering, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China;

2. College of Science, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The epitaxial films of semiconductor optoelectronics Mg_2Si are prepared on Si (111) substrates by radio frequency magnetron sputtering. The crystal structures and the micro topography of Mg_2Si films are characterized by X-ray diffraction and field emission scanning electron microscope. The effects of sputtering power on preferred orientation of Mg_2Si films on Si(111) substrates are obtained. The results show that the Mg_2Si films with one preferential growth $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ increases firstly with increasing sputtering power from 60 W to 90 W, then decreases after reaching a maximum and the sputtering power is 70 W.

Key words: radio frequency magnetron sputtering; Mg_2Si ; sputtering power; preferred orientation

0 引言

作为一种新型的环境半导体材料^[1-2],半导体 Mg_2Si 由资源寿命极长的硅、镁元素组成,它对地球无污染,能循环利用,因此越来越受到人们的青睐。 Mg_2Si 是硅、镁二元化合物中唯一稳定存在的化合物^[3],其能隙^[4]窄,热电势率高和热导率低,是一种很有发展潜力的热电半导体材料^[5]。 Mg_2Si 与传统的硅工艺兼容,可在硅衬底上外延^[6]生长,在半导体工业具有重要的应用前景。

目前在国际上,对于半导体 Mg_2Si 的实验研究相对较少,这主要是由于 Mg 具有高的蒸汽压^[7]和低的凝结系数,使半导体 Mg_2Si 制备难。已报道的主要有通过分子束外延^[8-9]、离子束注入^[10-12]和脉冲激光^[11]等进行半导体薄膜 Mg_2Si 的制备,而采用射频磁控溅射设备进行硅基外延半导体薄膜 Mg_2Si 的制备却未见报道。

本文采用射频磁控溅射设备,在硅(111)衬底上制备了半导体薄膜 Mg_2Si 。通过 X 线衍射仪(XRD)分析了硅基外延半导体薄膜 Mg_2Si 的晶体结构,通过场致发射扫描电子显微镜(FESEM)分析了硅基外延半导体薄膜 Mg_2Si 的微观形貌,研究了功率参数对硅基外延半导体薄膜 Mg_2Si 择优取向的影响。研究结果为光电半导体薄膜 Mg_2Si 的工业化应用提供了实验基础。

1 实验

1.1 样品制备

采用硅 Si(111)片作为进行射频磁控溅射的衬底基片,进行尺寸为 5 mm×5 mm。将硅基片通过无水酒精、丙酮超声波振荡清洗,然后用去离子水超声波振荡清洗干净。将衬底硅基片放入磁控溅射仪的样品室中反溅 15 min,以便除去衬底硅基片表面的杂质,增加衬底硅基片表面的微观粗糙度,有利于

收稿日期:2012-07-01

基金项目:湖北省教育厅自然科学基金资助项目(B20122903);湖北省科技厅科学研究基金资助项目(2010CDB00901)

作者简介:余志强(1984-),男,湖北黄冈人,讲师,硕士,主要从事电子功能材料及器件的研究。E-mail: y_zq2008@yahoo.cn

增加薄膜在溅射沉积时的附着力。

进行射频磁控溅射的过程中,射频溅射所用的镁靶纯度为 99.99%,磁控溅射仪溅射室的本底真空为 1.2×10^{-5} Pa,工作气压为 5 Pa,射频溅射功率范围为 60~90 W,氩气流量为 15 mL/min。对于 Si(111)衬底基片,通过射频磁控溅射仪在室温条件下射频溅射沉积镁膜 10 min,然后将溅射好的镁膜样品装入铝盒,在优化的热处理条件下置于石英管高真空退火炉中进行二次退火。

1.2 表征

采用日本理学 D/max 2200PC 型 XRD 分析 Mg_2Si 样品的晶体结构, $\text{CuK}\alpha$ 辐射。通过日本日立 S-4800 型 FESEM 观察 Mg_2Si 样品的微观形貌。

2 结果及分析

2.1 功率参数对光电薄膜 Mg_2Si 结构的影响

图 1 为在不同射频磁控溅射功率下制备的薄膜样品的 XRD 谱。由图可知,在不同射频溅射功率条件下制备的各薄膜样品的晶相均为半导体 Mg_2Si 。在 60~90 W 的射频溅射功率范围内,硅基外延半导体薄膜 Mg_2Si 具有 $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ 的外延择优生长特性,且随着溅射功率的增加,样品中 Mg_2Si 相位于 40.2° 处晶面的特征主衍射峰强度先逐渐增强,而后逐渐减弱。当溅射功率达到 70 W 时, Mg_2Si 的特征主衍射峰强度最强,制备的半导体薄膜 Mg_2Si 样品的主要衍射晶面分别包括 (111)、(200)、(220)、(311) 和 (400),与光电半导体薄膜 Mg_2Si 的标准谱^[13] PDF # 65-9365 卡片(晶格常数 $a=b=c=0.635$ nm)基本吻合。当继续增加溅射功率时,发现半导体薄膜 Mg_2Si 的特征主衍射峰强度又逐渐减弱,表明功率参数对硅基光电半导体薄膜 Mg_2Si 的外延择优取向具有重要的影响。

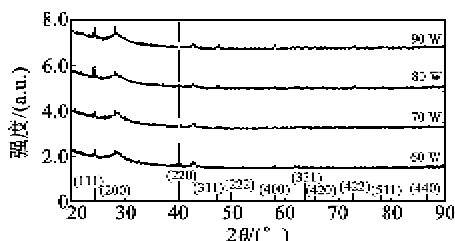


图1 不同磁控溅射功率下样品的 XRD 谱

2.2 功率参数对光电薄膜 Mg_2Si 晶格的影响

表 1 为不同溅射功率条件下二次退火样品的晶格常数,其中晶格常数根据布喇格方程^[14]计算得到。由表可知,在不同溅射功率下制备的各样品的晶相均为半导体 Mg_2Si ,各样品的晶格常数与 Mg_2Si 标准晶格常数相接近。图 2 为在不同溅射功率下制备的 Mg_2Si 样品的晶格常数变化曲线图。

根据布喇格方程可计算得到 Mg_2Si 样品晶格常数

$$d = n\lambda / (2\sin \theta) \quad (1)$$

式中: θ 为入射 X 线与相应晶面的夹角; λ 为 X 线的波长; n 为衍射级数。布喇格方程是晶体衍射的理论基础。

表 1 不同溅射功率下样品 $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ 晶面的晶格常数

溅射功率/W	标准晶格常数/nm	样品 $\text{Mg}_2\text{Si}(220)$ 晶面	
		λ/nm	d/nm
60	0.635	0.154	0.658
70	0.635	0.154	0.736
80	0.635	0.154	0.699
90	0.635	0.154	0.689

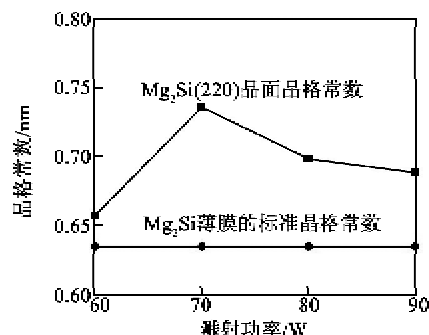


图2 不同溅射功率下样品的晶格常数变化曲线

2.3 功率参数对光电薄膜 Mg_2Si 微观形貌的影响

图 3 为在 70 W 溅射功率下制备的半导体 Mg_2Si 样品的 FESEM 图。由图可见,在 70 W 溅射功率条件下制备的样品晶体表面细密紧凑,结晶度良好,这与图 1 分析一致。由此可知,功率参数对硅基光电半导体薄膜 Mg_2Si 的外延择优取向具有重要的影响。

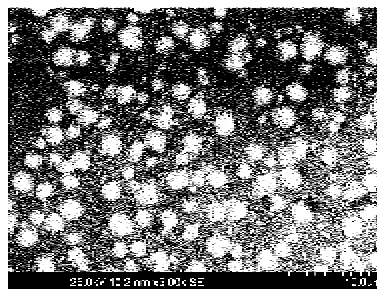


图3 70 W 溅射功率下样品的表面形貌 FESEM 照片

3 结束语

采用射频磁控溅射技术在 Si(111)衬底上制备了不同溅射功率下的 Mg_2Si 外延半导体薄膜。通过 X 线衍射仪和场致发射扫描电子显微镜对 Si 基外延半导体薄膜 Mg_2Si 的晶体结构和表面形貌进行了表征,分析了功率参数对半导体薄膜 Mg_2Si 外

延取向的影响。研究表明,功率参数对于 Si 基光电半导体薄膜 Mg_2Si 的晶格常数具有重要影响,当溅射功率达到 70 W 时,通过一定的热处理工艺可得到理想的硅基光电半导体薄膜 Mg_2Si 。

参考文献:

- [1] BALEVA M, ZLATEVA G, ATANASSOV A, et al. Resonant Raman scattering in ion-beam-synthesized Mg_2Si in a silicon matrix[J]. *Phys Rev B*, 2005, 72: 115330.
 - [2] ATANASSOV A, BALEVA M. On the band diagram of $\text{Mg}_2\text{Si}/\text{Si}$ heterojunction as deduced from optical constant dispersions[J]. *Thin Solid Films*, 2007, 515: 3046-3051.
 - [3] ROBERTS G A, CAIRNS E J, REIMER J A. Magnesium silicide as a negative electrode material for lithium-ion batteries[J]. *J Power Sources*, 2002, 110: 424-429.
 - [4] MORRIS R G, REDIN R D, DANIELSON G C. Semiconducting properties of Mg_2Si single crystals [J]. *Phys Rev*, 1958, 109: 1909-1915.
 - [5] TANI J, KIDO H. Thermoelectric properties of Bi-doped Mg_2Si semiconductors[J]. *Physica B*, 2005, 364: 218-224.
 - [6] 余志强, 谢泉, 肖清泉, 等. Mg_2Si 晶体结构及消光特性的研究[J]. *物理学报*, 2009, 58(10): 6889-6893.
YU Zhiqiang, XIE Quan, XIAO Qingquan, et al. Structure and extinction properties of Mg_2Si crystal [J]. *Acta Phys Sin*, 2009, 58(10): 6889-6893.
 - [7] VANTOMME A, LANGOUCHE G, MAHAN J E, et al. Growth mechanism and optical properties of semiconducting Mg_2Si thin films[J]. *Microelectronic Engineering*, 2000, 50(1/4): 237-242.
 - [8] MAHAN J E, VANTOMME A, LANGOUCHE G, et al. Semiconducting Mg_2Si thin films prepared by molecular-beam epitaxy[J]. *Phys Rev B*, 1996, 54(23): 16965-16971.
 - [9] VANTOMME A, MAHAN J E, LANGOUCHE G, et al. Thin film growth of semiconducting Mg_2Si by codeposition[J]. *Appl Phys Lett*, 1997, 70: 1086-1088.
 - [10] SERIKAWA T, HENMI M, KONDOH K. Microstructure and Mg concentration of Mg-Si thin film deposited by ion beam sputtering on glass substrate[J]. *J Vac Sci Technol A*, 2004, 22: 1971-1974.
 - [11] SONG S W, STRIEBEL K A, SONG X Y, et al. Amorphous and nanocrystalline Mg_2Si thin-film electrodes[J]. *J Power Sources*, 2003(119/121): 110-112.
 - [12] GORANOVA E, AMOV B, BALEVA M, et al. Ion beam synthesis of Mg_2Si [J]. *J Mater Sci*, 2004, 39: 1857-1859.
 - [13] BARLOCK J G, MONDOLFO L F. Structure of some Al-Fe-Mn-Si alloys[J]. *Z Metallkd*, 1975, 66: 605-611.
 - [14] SCHERRER P. Nachrichten von der gesellschaft der wissenschaften zu goettingen[J]. *Mathematisch-physikalische Klasse*, 1918, 2: 98-100.
-
- (上接第 437 页)
- [8] WU Yunyi, WANG Xiaohui, ZHONG Caifu, et al. Effect of anneal conditions on electrical properties of Mn-doped $(\text{Na}_{0.85}\text{K}_{0.15})_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ thin films prepared by Sol-Gel method[J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 2011, 94(6): 1843-1849.
 - [9] ZHONG Caifu, WANG Xiaohui, LI Longtu, et al. Fabrication and properties of epitaxial growth $\text{BiScO}_3\text{-PbTiO}_3$ thin film via a hydrothermal method[J]. *Applied Physics Letters*, 2008, 92(22): 1-3.
 - [10] CHEN Xiaoming, LIAO Yunwen, WANG Huaiping, et al. Phase structure and electric properties of $\text{Bi}_{0.5}(\text{Na}_{0.825}\text{K}_{0.175})_{0.5}\text{TiO}_3$ ceramics prepared by a Sol-Gel method[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2009, 493(1/2): 368-371.
 - [11] GONG Wen, LI Jingfeng, CHU Xiangcheng, et al. Preparation and characterization of Sol-Gel derived (100)-textured $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ thin films; PbO seeding role in the formation of preferential orientation[J]. *Acta Materialia*, 2004, 52(9): 2787-2793.
 - [12] 林贤福. 现代波普分析法[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2009.
 - [13] SILVERSTEIN R M, WEBSTER F X, KIEMLER D J. 有机化合物波谱分析[M]. 药明康德新药开发有限公司分析部, 译. 上海: 华东理工大学出版社, 2007.
 - [14] PARK Y I, KIM C E, LEE H W. Effects of catalyst and solvent on PbTiO_3 fibers prepared from triethanolamine complexed titanium isopropoxide[J]. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 1999, 14(2): 149-162.
 - [15] KIM C E, PARK Y I, LEE H W. Preparation of PbTiO_3 fibers using triethanolamine-complexed alkoxide [J]. *Journal of Materials Science Letters*, 1997, 16(2): 96-100.
 - [16] KITAOKA K, TAKAHARA K, KOZUKA H, et al. Sol-Gel processing of transparent PLZT ($(\text{Pb}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$) fibers[J]. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 1999, 16(1/2): 183-193.