

MOCVD生长 MgZnO 薄膜及太阳盲紫外光电探测器

鞠振刚^{1,2}, 张吉英¹, 蒋大勇^{1,2}, 单崇新¹,
姚 斌¹, 申德振¹, 吕有明¹, 范希武¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 吉林 长春 130033

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用 MOCVD 在蓝宝石衬底上, 通过低温生长实现了立方结构、吸收边在 255 nm 的 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 合金薄膜, 并采用传统湿法刻蚀的方法在薄膜上制备了梳状叉指金电极, 构成金属-半导体-金属 (MSM) 结构, 实现了在 10 V 偏压下, 器件的光响应峰值在 250 nm, 截止边为 273 nm 的 MgZnO 太阳盲光电探测器。

关键词: MgZnO 薄膜; 太阳盲光电探测器; 金属有机化学气相沉积

中图分类号: O742.8

PACC: 7240

文献标识码: A

1 引言

目前, 在商业和军事上应用的紫外探测器主要以光电倍增管和硅基紫外光电管为主^[1], 但这两者存在体积笨重, 功耗大以及需附带滤光片等缺点, 对于实际应用有一定的局限性, 因此近年来人们开始关注宽带隙半导体固体紫外探测器研究, 特别用于军事上进行导弹尾焰探测 (太阳盲区 220~280 nm) 的应用研究引起了极大兴趣。GaN 基半导体薄膜由于 pn 结的实现, 快速地推进了它在日盲波段紫外探测器的进展^[2], 然而, 由于 AlGaN 缺少匹配的生长衬底, 从而限制了器件效率的提高^[3]。MgZnO 材料由于生长温度低、缺陷密度低, 且无毒、原料丰富以及带隙调制范围宽 (3.36~7.8 eV, 370~159 nm) 等优点^[4~10], 更适于太阳盲区紫外探测器的制备, 并且对于真空紫外波段的探测有着良好的应用前景。美国马里兰大学 W. Yang 等^[6]已经报道了采用激光脉冲沉积 (PLD) 方法生长制备了 MgZnO 薄膜, 并实现了 MSM (金属-半导体-金属) 结构的太阳盲波段探测器, 其光响应峰值位于 225 nm, 响应截止边为 230 nm。但是由于 ZnO 和 MgO 具有不同的晶体结构, 使得 ZnMgO 薄膜在高 Mg 组分下的生长容易

发生结构分相, 从而限制了 ZnMgO 在太阳盲波段 (220~280 nm), 尤其在 250~280 nm 区间紫外探测器的实现。因此, 目前还很少有关于 MgZnO 在该波段的紫外探测器的报道^[11]。本文采用低压金属有机化学气相沉积 (LP-MOCVD) 方法在 *c* 面蓝宝石衬底上, 通过选择低的生长温度, 生长了吸收边在 255 nm 的单一立方结构 MgZnO 薄膜, 并实现了 MSM 结构的 MgZnO 太阳盲紫外探测器, 其光响应峰值位于 250 nm, 截止波长在 273 nm。

2 实验

利用 LP-MOCVD 方法在 *c* 面蓝宝石衬底上生长了 Mg 组分 $x = 0.52$ 的 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 合金薄膜, 镁源为二茂镁, 锌源为二乙基锌, 高纯氧作为氧源, 生长温度为 450 °C, 生长室压力控制为 20 kPa, 生长时间为 1.5 h。样品组分通过能量色散 X 射线光谱仪 (EDS) 给出; 器件制备为如下步骤, 首先通过真空热蒸发的方法, 在 MgZnO 合金薄膜上蒸镀厚度约为 50 nm 的 Au 膜, 然后采用光刻、湿法刻蚀的方法形成 MSM 结构器件, MSM 结构电极的指长是 500 μm, 指宽 5 μm, 指间距 2 μm。吸收谱是通过 Shimadzu UV-3101 PC 双光束分光

收稿日期: 2008-07-21; 修订日期: 2008-08-24

基金项目: 国家重点基金 (50532050); 国家“973”计划 (2008CB307105, 2006CB 604906); 国家自然科学基金 (60676059, 60506014) 资助项目

作者简介: 鞠振刚 (1981-), 男, 黑龙江人, 博士研究生, 主要从事紫外光电探测器的研究。

*: 通讯联系人: E-mail: zhangjv53@vahoo.com.cn Tel: (0431) 86176322

度计测量。器件的光谱响应的测量系统选用的是 150W 的氙灯为光源,配有单色光谱仪,并通过锁相放大器读出信号。

3 结果与讨论

图 1 (a) 给出了 LPMOCVD 方法生长的 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 合金薄膜的 X 射线衍射谱。从图中可以看出除了位于 41.68° 蓝宝石衬底的 (006) 衍射峰外,只有位于 36.62° 的 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 的 (111) 衍射峰,其衍射峰的强度比蓝宝石衬底还要强,而且没有任何其它六方结构的衍射峰出现。此外,其衍射峰的半高宽仅为 0.160° ,也表明样品具有很高的结晶质量。图 1 (b) 所示为样品 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 的吸收谱,利用吸收系数与光子能量的关系式如图 1 (b) 所示,我们可以算出样品的吸收边能量位于 4.86 eV (255 nm),另外从该图

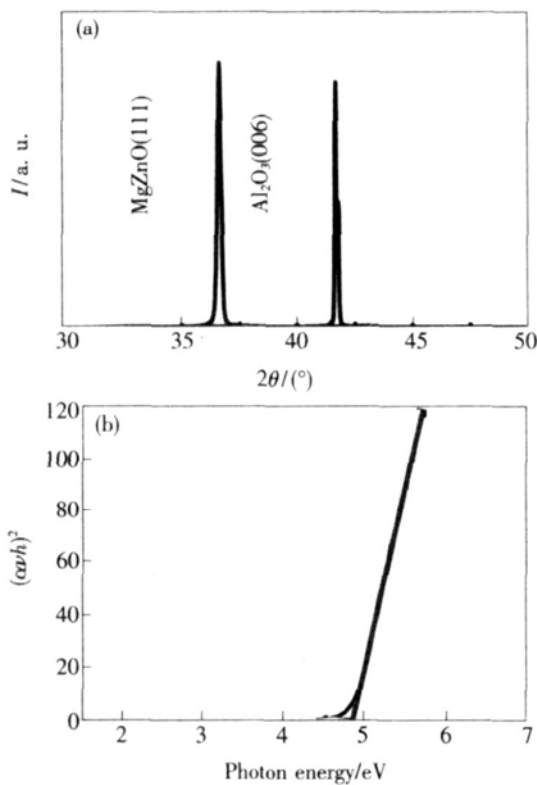


图 1 (a) $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 样品的 X 射线衍射谱和 (b) $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 样品的紫外-可见吸收光谱

Fig 1 (a) XRD diffraction patterns and (b) UV-V absorption spectrum of the $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ thin film.

参 考 文 献:

- [1] Othman N B, Kinukin A I, Tut T, et al. Solar-blind AlGaN-based Schottky photodiodes with low noise and high detectivity [J]. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(17): 3272-3274
- [2] Nakamura S, Mukai T. High power GaN p-n junction blue-light emitting diodes [J]. *Jpn. J. Appl Phys*, 1991, **30**

中可以看到在 $4.86 \sim 4.54 \text{ eV}$ 区间有一弱的拖尾吸收,这可能与样品中存在一定的组分涨落有关。从目前国内研究结果看, $MgZnO$ 在带隙 $4.0 \sim 5.0 \text{ eV}$ 就已经进入分相区^[8]。但是随着生长方法和参数不同,分相区域有差别,而我们的样品带隙位于 4.86 eV ,之所以没有分相是因为我们在较低温度下生长的。在这个较低温度下,将更有利于亚稳态的立方相的形成,从而形成单一的立方结构,相关的研究正在进行。

图 2 是 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ MSM 太阳盲探测器在 10 V 偏压下的光谱响应曲线,其光响应峰值位于 250 nm 处,且在 273 nm 具有较为陡峭截止边,这与吸收上在 $255 \sim 273 \text{ nm}$ 的拖尾吸收对应,其紫外探测可见比 ($250 \text{ nm}/400 \text{ nm}$) 已经接近 4 个量级。这一结果表明通过生长参数的选择和器件工艺的改善将会使器件的性能得到进一步提高。

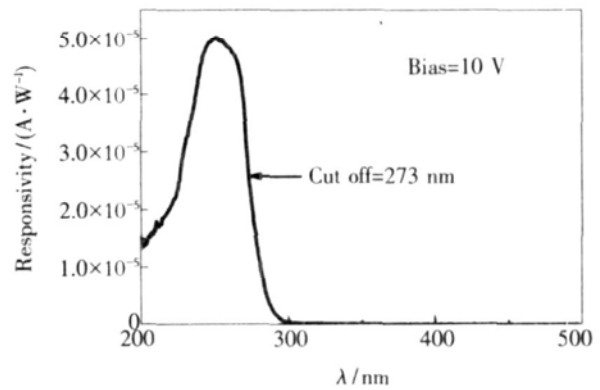


图 2 在 10 V 偏压下 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 光电探测器的响应光谱

Fig 2 Photoresponse spectrum of $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ photodetector under bias of 10 V .

4 结 论

首次采用金属有机化学气相沉积方法在 c 面蓝宝石衬底上制备了 $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ 薄膜并实现了 MSM 结构的太阳盲紫外探测器,探测峰值位于 250 nm ,截止边在 273 nm ,该结果为进一步实现高性能的 $MgZnO$ 紫外探测器提供了可行的技术保证。

(12A): L1998-L2001.

- [3] Kuryatkov V V, Borisov B A, Nikishin S A, *et al* 247 nm solar-blind ultraviolet p-i-n photodetector [J]. *J. Appl Phys*, 2006 **100**(9): 096104-1-3
- [4] Choo-pun S, Vispute R D, Yang W, *et al* Realization of band gap above 5.0 eV in metastable cubic-phase MgZn_{1-x}O alloy films [J]. *Appl Phys Lett*, 2002 **80**(9): 1529-1531.
- [5] Auret F D, Goodman S A, Hayes M, *et al* Electrical characterization of 1.8 MeV proton-bombarded ZnO [J]. *Appl Phys Lett*, 2001, **79**(19): 3074-3076
- [6] Yang W, Hullavarad S S, Nagaraj B, *et al* Compositionally-tuned epitaxial cubic MgZn_{1-x}O on Si(100) for deep ultraviolet photodetectors [J]. *Appl Phys Lett*, 2003, **82**(20): 3424-3426
- [7] Narayan J, Shama A K, Kvita A, *et al* Novel cubic Zn_xMg_{1-x}O epitaxial heterostructures on Si(100) substrates [J]. *Solid State Commun*, 2002, **121**(1): 9-13
- [8] Ohtomo A, Kawasaki M, Koida T, *et al* MgZn_{1-x}O as a II-VI widegap semiconductor alloy [J]. *Appl Phys Lett*, 1998, **72**(19): 2466-2468
- [9] Zhang Xia Li Xiaom in, Chen Tonglai *et al* p-type conduction and optical properties of Zn_{1-x}Mg_xO thin films grown by ultrasonic spray pyrolysis [J]. *Chin. J. Lum in* (发光学报), 2006, **27**(4): 503-508 (in Chinese).
- [10] Wei Zhipeng, Wu Chenxia, Lu Youming *et al* MgZn_{1-x}O alloy grown by P-MBE and optical properties of MgZnO/ZnO heterostructure [J]. *Chin. J. Lum in* (发光学报), 2006, **27**(5): 831-833 (in Chinese).
- [11] Jiang Dayong, Zhang Jiyong, Shan Chongxin, *et al* Solar-blind photodetectors based on MgZnO thin films [J]. *Chin. J. Lum in* (发光学报), 2008, **29**(4): 743-746 (in Chinese).

The Growth of MgZnO Thin Film by MOCVD and the Application in Solar Blind UV Detector

JU Zhen-gang^{1,2}, ZHANG Jiyong¹, JIANG Da-yong^{1,2}, SHAN Chong-xin¹,
YAO Bin¹, SHEN De-zhen¹, LU You-ming¹, FAN X W¹

(1 Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The application of UV detector in commerce and military are mainly focus on photomultiplier tube and UV detector based on silicon at present. However, the ponderosity, large energy consumption, and the attachment of the filters have certain limitation on the application of the photomultiplier tube as the UV detector. Recently, more attentions were paid on the solid wide gap semiconductor UV detector, especially for the potential application in solar blind region (220 nm to 280 nm) for the detection of the missile plume. The realization of GaN-based pn junction detector accelerated the development of UV detector in solar blind region. But the lack of the lattice mismatch substrate for the growth of GaN-based materials limited the rising of the devices efficiency. MgZnO appears to be an ideal material for the application of solar-blind photodetectors because it possesses unique figures of merit, such as availability of lattice-matched single-crystal substrates, tunable band-gap (3.3 to 7.8 eV), relative low growth temperatures (100~750 °C), nontoxic, and low defect density. Moreover, it also has a good potential application in deep UV region. In this paper, we obtained the pure cubic phase MgZnO alloy with 255 nm absorption edge by LP-MOCVD, and realized a solar-blind MgZnO photodetector. The peak responsivity of the detector locates at 250 nm, and cutoff wavelength at 273 nm.

The MgZnO films were deposited on sapphire substrate by LP-MOCVD. We select bis(η⁵-cyclopentadienyl) magnesium (Mg(C₅H₅)₂) as Mg source, dimethylzinc as Zn source and high purity oxygen as O source

The growth temperature was fixed at 450 °C, the pressure in growth chamber is at 20 kPa. The growth time lasts for 1.5 hour; then the films were taken out from the growth chamber. Energy-dispersive X-ray spectrum (EDX) measurement showed that the composition of the films is $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$. Secondly, the interdigital Au electrodes were fabricated on 50 nm Au layer by conventional UV photolithography and wet etching. The interdigital fingers are 500 μm in length, 5 μm in width, and the spacing between the fingers is 2 μm .

The XRD patterns of $MgZnO$ thin films show only one sharp and strong diffraction peak at 36.62° , which is assigned as cubic (111) orientation. The HWHM of the diffraction peak is only 0.16° , which shows the high quality of the thin film. The diffraction peak indicates that the sample has a metastable cubic phase without phase separation. The absorption spectrum shows that the band gap of the $Mg_{0.52}Zn_{0.48}O$ is at 4.86 eV (255 nm), which has step in the phase region reported in literature (4.0~5.0 eV). As well known, the low growth temperature is beneficial to the cubic $MgZnO$ film with large Mg composition, due to that the metastable state is more easily formed at low growth temperature. The responsivity of the detector exhibits the peak energy at 250 nm and cutoff wavelength at 273 nm, which satisfies for the wavelength-need of the missile flame detection in response wavelength region.

Key words $MgZnO$ alloy thin film; solar-blind photodetector; MOCVD

Received date: 2008-07-21

《发光学报》2008年在长编委编委会会议纪要

2008年6月26日在中科院长春光机与物理所召开了《发光学报》2008年编委会,在长编委参加了会议。会议由申德振主编主持,编委们听取了编辑部2007年《发光学报》编辑部工作情况、学报的现状和发展趋势的报告,并对学报的现状和发展形势、学报的建设等进行了积极认真的讨论。会上,编委们还就E数据库中国区总代表2008年5月访问《发光学报》编辑部并对《发光学报》提出的建议和要求提出了细致、可行的建议。

1. 编委们充分肯定了学报2007年的发展和取得的成绩。

2. 对学报下一步发展与征稿情况提出了积极有益的建议,并一致通过了关于《发光学报》编委会成员有义务为学报投稿、组稿的建议和要求。

3. 建议进一步增加英文论文稿件的刊登数量,早日和国际期刊语言接轨,鼓励作者用英语写论文,并提出集中排版或单期出版英语撰写论文专辑的建议。

4. 按照E的建议和要求进行改进现有的排版和出版状况,合理安排论文版面和研究群体的论文。

5. 建议向在发光学领域工作时间比较长的专家和研究群体征集稿件,主要是他们在比较长的时间里研究工作的总结或在某个领域重点研究成果。

会议结束后,编委们一起合影留念。