

尊敬的作者，您好！

您的论文在《物理学报》2014年第63卷第7期发表，现将该文的电子抽印本发给您留存。文章的引用参数请见页眉。

《物理学报》的发展离不开国内作者的大力支持，为进一步提高我刊的国际影响力，同时更好地宣传您的工作，建议您和您的研究团队及时向同行介绍您的文章，参加国内外学术会议或者发表文章时，关注您在我刊发表的相关论文。


在这里列出了学报近两年刊登的与您研究领域相关的部分文章，希望可以为您今后的研究工作提供一些参考。

非常感谢您对《物理学报》的支持！

《物理学报》编辑部


Zn_{0.97}Cr_{0.03}O 的 PLD 制备及其铁磁性

谢玲玲, 陈水源, 刘凤金, 张建敏, 林应斌, 黄志高

2014, 63(7): 077102. 全文:  [PDF](#) (724KB)


热退火对 Mn 离子注入非故意掺杂 GaN 微结构、光学及磁学特性的影响

徐大庆, 张义门, 娄永乐, 童军

2014, 63(4): 047501. 全文:  [PDF](#) (475KB)


Ge 纳米结构的形貌与铁磁性研究

赵翠莲, 甄聪棉, 马丽, 潘成福, 侯登录

2013, 62(3): 037502. 全文:  [PDF](#) (6846KB)


退火氛围对掺杂 ZnO 薄膜磁性的影响

李志文, 岂云开, 顾建军, 孙会元

2012, 61(13): 137501. 全文:  [PDF](#) (302KB)


消磁场对纳米铁磁线磁畴壁动力学行为的影响

范喆, 马晓萍, 李尚赫, 沈帝虎, 朴红光, 金东炫

2012, 61(10): 107502. 全文:  [PDF](#) (2813KB)

非故意掺杂碳对 ZnMnO:N 磁性影响的实验与理论研究

吴孔平, 顾书林, 朱顺明, 黄友锐, 周孟然

2012, 61(5): 057503. 全文:  [PDF](#) (785KB)

ISSN 1000-3290

物理学报

Acta Physica Sinica

2014.7 第63卷 第7期

<http://wulixb.iphy.ac.cn>



中国物理学会
中国科学院物理研究所

Chinese Physical Society
Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

物 理 学 报

第 63 卷 第 7 期 2014 年 4 月

目 次

综述

- 070701 应用于弱光探测的热敏超导谐振器 周品嘉 王轶文 韦联福

总论

- 070201 阻尼最速落径问题和约束与运动定理的联系 丁光涛
070202 基于跟驰模型列车运行优化控制模拟研究 叶晶晶 李克平 金新民
070203 双色散模型的辛时域有限差分算法 王辉 黄志祥 吴先良 任信钢 吴博
070204 生物分子膜门电极 AlGa_N/Ga_N 高电子迁移率晶体管 (HEMT) 生物传感器研究
..... 李加东 程璐洁 苗斌 魏晓玮 张志强 黎海文 吴东岷
070501 乘性和加性 α 稳定噪声环境下的过阻尼单稳随机共振现象 ... 焦尚彬 任超 李鹏华 张青 谢国
070502 电感电流伪连续模式下 Boost 变换器的分数阶建模与分析 谭程 梁志珊
070503 基于双重傅里叶级数的混沌 SPWM 频谱量化分析 ... 刘永迪 李虹 张波 郑琼林 游小杰
070504 双信道偏振复用保密通信系统的完全混沌同步的操控性研究 钟东洲 邓涛 郑国梁
070702 一种用于一次谐波背景消除与基线校正的新型方法
..... 张锐 赵学珏 胡雅君 郭媛 王喆 赵迎 李子晓 汪曩

原子和分子物理学

- 073201 μ 介子氢原子在双色激光场驱动下产生单个仄秒脉冲 李志超 崔森 何峰
073301 多色宽带相干反斯托克斯拉曼散射过程的理论与实验研究
..... 尹君 余锋 侯国辉 梁闰富 田宇亮 林子扬 牛憨笨
073302 从头计算研究 BP 分子的势能曲线和光谱性质 王文宝 于坤 张晓美 刘玉芳

电磁学、光学、声学、传热学、经典力学和流体动力学

- 074201 新型发光二极管透镜产生局域空心光束 何西 杜团结 吴逢铁
074202 基于普通汞灯光源的横向塞曼效应背景校正大气汞检测方法研究
..... 李传新 司福祺 周海金 刘文清 胡仁志 刘凤垒
074203 Er³⁺ 掺杂玻璃腔内增强激光冷却理论分析 贾佑华 高勇 钟标 印建平
074204 光束通量空间分布随机变化的统计分析 韩伟 周丽丹 李富全 王芳 冯斌 郑奎兴 巩马理
074205 金电极的激光组装制备研究 张然 吕超 肖鑫泽 骆杨 何艳 徐颖
074206 交连值对斜率响应矩阵和迭代矩阵稀疏度的影响
..... 程生毅 陈善球 董理治 刘文劲 王帅 杨平 敖明武 许冰
074207 晶体的双参量调制及其应用 李长胜
074208 基于分块速度域改进迭代运动目标检测算法的红外弱小目标检测
..... 侯旺 于起峰 雷志辉 刘晓春

- 074209 紧聚焦飞秒脉冲与石英玻璃相互作用过程中的电子动量弛豫时间研究 卞华栋 戴晔 叶俊毅 宋娟 阎晓娜 马国宏
- 074210 1550 nm 低损耗单模全固态光子带隙光纤研究 程兰 罗兴 韦会峰 李海清 彭景刚 戴能利 李进延
- 074211 基于视角无关转换的深度摄像机定位技术 韩云 钟圣伦 叶正圣 陈启军
- 074401 硅功能化石墨烯热导率的分子动力学模拟 惠治鑫 贺鹏飞 戴瑛 吴艾辉
- 074501 一类含时变间隙的强非线性相对转动系统分岔和混沌 刘彬 赵红旭 侯东晓 刘浩然
- 074701 间歇湍流的分数阶动力学 刘式达 付遵涛 刘式适
- 074702 基于微空泡效应的疏水性展向微沟槽表面水下减阻研究 王宝 汪家道 陈大融
- 074703 任意复杂流-固边界的格子 Boltzmann 处理方法 史冬岩 王志凯 张阿漫
- 074704 基于回转体型艇身的电磁流体表面推进与矢量控制特性研究 刘宗凯 顾金良 周本谋 纪延亮 黄亚冬 徐驰

气体、等离子体和放电物理

- 075201 光抽运多层石墨烯太赫兹表面等离子体增益特性的研究 刘亚青 张玉萍 张会云 吕欢欢 李彤彤 任广军

凝聚物质:结构、力学和热学性质

- 076101 Fe-Pb 合金凝固多相体系内偏析形成过程的三维数值模拟 王哲 王发展 王欣 何银花 马姗 吴振
- 076102 低聚壳聚糖几何结构和物理化学属性的理论研究 李鑫 张梁 羊梦诗 储修祥 徐灿 陈亮 王悦悦
- 076103 Cu 刃型扩展位错附近局部应变场的原子模拟研究 邵宇飞 杨鑫 李久会 赵星
- 076501 基于量子修正的石墨烯纳米带热导率分子动力学表征方法 郑伯昱 董慧龙 陈非凡
- 076801 电极间距对 $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 薄膜结构特性的影响 曹宇 张建军 严干贵 倪攀 李天微 黄振华 赵颖

凝聚物质:电子结构、电学、磁学和光学性质

- 077101 F, Na 共掺杂 p 型 ZnO 的第一性原理研究 邓胜华 姜志林
- 077102 $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}\text{O}$ 的 PLD 制备及其铁磁性 谢玲玲 陈水源 刘凤金 张建敏 林应斌 黄志高
- 077201 碳纳米管光混频器产生太赫兹功率的理论分析 贾婉丽 赵立 侯磊 纪卫莉 施卫 屈光辉
- 077301 基于一维光子晶体的新型背反射器及其在非晶硅薄膜太阳能电池中的应用 陈培专 侯国付 索松 倪攀 张建军 张晓丹 赵颖
- 077302 封装进过渡金属原子的单壁碳纳米管: 密度泛函理论研究 刘曼 闫强 周丽萍 韩琴
- 077801 铈酸锂波导电光重叠积分因子的波长依赖特性分析 李金洋 逯丹凤 祁志美
- 077802 $\text{Ba}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2\text{:Eu}^{2+}$ 蓝色荧光粉的合成及其发光特性 王志军 刘海燕 杨勇 蒋海峰 段平光 李盼来 杨志平 郭庆林
- 077803 不同激发波长下 $\text{Ce}^{3+}\text{-Tb}^{3+}\text{-Sm}^{3+}$ 共掺白光玻璃的发光性能 陈乔乔 戴能利 刘自军 褚应波 李进延 杨旅云
- 077804 高亮度蓝绿色长余辉材料 $\text{Ba}_4(\text{Si}_3\text{O}_8)_2\text{:Eu}^{2+}, \text{Pr}^{3+}$ 的发光性能及其余辉机理研究 王鹏久 徐旭辉 邱建备 周大成 刘雪娥 程帅

物理学交叉学科及有关科学技术领域

- 078101 通过AC-HVAF方法制备铁基非晶合金涂层的结构分析 叶凤霞 陈燕 余鹏 罗强 曲寿江 沈军
.....
- 078201 重力场作用下微管自组装过程中向列相取向的空间模式的形成 胡健 邱锡钧
- 078401 基于信任度的双门限协作频谱感知算法 张学军 鲁友 田峰 孙知信 成谢锋
- 078402 具有陡降特性的新型混合单元频率选择表面 王岩松 高劲松 徐念喜 汤洋 陈新
- 078403 基于变量解耦的俯冲加速段弹载SAR大场景成像算法 江淮 赵惠昌 汉敏 张淑宁
- 078501 Cu, Zn离子注入SiO₂纳米颗粒合成及氧气氛下的热稳定性研究 许蓉 贾光一 刘昌龙
- 078701 二维光栅角度信号响应函数研究
..... 鞠在强 王研 鲍园 李盼云 朱中柱 张凯 黄万霞 袁清习 朱佩平 吴自玉
- 078702 非均匀电磁介质中的等效源重构 赵晨 蒋式勤 石明伟 朱俊杰
- 078703 基于SPCNN与改进型矢量CV模型的乳腺X射线肿块分割方法
..... 韩振中 陈后金 李艳凤 李居朋 姚畅 程琳
- 078704 脑电信号的多尺度排列熵分析 姚文坡 刘铁兵 戴加飞 王俊
- 078801 NPB阳极缓冲层对反型结构聚合物太阳能电池性能的影响
..... 龚伟 徐征 赵璐玲 刘晓东 杨倩倩 樊星
- 078901 基于时滞耦合映像格子的多耦合边耦合网络级联抗毁性研究
..... 彭兴钊 姚宏 杜军 丁超 张志浩
- 078902 变曲率弯路车辆换道虚拟轨迹模型 任殿波 张京明 王聪

地球物理学、天文学和天体物理学

- 079201 基于区域逐步分析的集合变分资料同化方法 吴祝慧 韩月琪 钟中 杜华栋 王云峰
- 079401 准线性扩散系数与空间高能电子特征物理量的关系研究 张振霞 王辰宇 李强 吴书贵

ACTA PHYSICA SINICA
Vol. 63, No. 7, April 2014

CONTENTS

Review

- 070701 **Thermal-sensitive superconducting coplanar waveguide resonator used for weak light detection**
Zhou Pin-Jia Wang Yi-Wen Wei Lian-Fu

GENERAL

- 070201 **Damped brachistochrone problem and the relation between constraint and theorem of motion**
Ding Guang-Tao
- 070202 **Simulation of optimal control of train movement based on car-following model**
Ye Jing-Jing Li Ke-Ping Jin Xin-Min
- 070203 **Symplectic FDTD algorithm for the simulations of double dispersive materials**
Wang Hui Huang Zhi-Xiang Wu Xian-Liang Ren Xin-Gang Wu Bo
- 070204 **Research on biomolecule-gate AlGa_N/Ga_N high-electron-mobility transistor biosensors**
Li Jia-Dong Cheng Jun-Jie Miao Bin Wei Xiao-Wei Zhang Zhi-Qiang Li Hai-Wen Wu Dong-Min
- 070501 **Stochastic resonance in an overdamped monostable system with multiplicative and additive α stable noise**
Jiao Shang-Bin Ren Chao Li Peng-Hua Zhang Qing Xie Guo
- 070502 **Modeling and simulation analysis of fractional-order Boost converter in pseudo-continuous conduction mode**
Tan Cheng Liang Zhi-Shan
- 070503 **Spectrum calculation of chaotic SPWM signals based on double fourier series**
Liu Yong-Di Li Hong Zhang Bo Zheng Qiong-Lin You Xiao-Jie
- 070504 **Manipulation of the complete chaos synchronization in dual-channel encryption system based on polarization-division-multiplexing**
Zhong Dong-Zhou Deng Tao Zheng Guo-Liang
- 070702 **A new method of background elimination and baseline correction for the first harmonic**
Zhang Rui Zhao Xue-Hong Hu Ya-Jun Guo Yuan Wang Zhe Zhao Ying Li Zi-Xiao Wang Yan

ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS

- 073201 **Single zeptosecond pulse generation from muonic atoms under two-color XUV fields**
Li Zhi-Chao Cui Sen He Feng
- 073301 **Theoretical and experimental study on the multi-color broadband coherent anti-Stokes Raman scattering processes**
Yin Jun Yu Feng Hou Guo-Hui Liang Run-Fu Tian Yu-Liang Lin Zi-Yang Niu Han-Ben

(Continued)

073302 **Ab initio calculation of the potential energy curves and spectroscopic properties of BP molecule**
Wang Wen-Bao Yu Kun Zhang Xiao-Mei Liu Yu-Fang

**ELECTROMAGNETISM, OPTICS, ACOUSTICS, HEAT TRANSFER,
CLASSICAL MECHANICS, AND FLUID DYNAMICS**

074201 **Optical bottle beam generated by a new type of light emitting diode lens**
He Xi Du Tuan-Jie Wu Feng-Tie

074202 **New transverse Zeeman effect method for mercury detection based on common mercury lamp**
Li Chuan-Xin Si Fu-Qi Zhou Hai-Jin Liu Wen-Qing Hu Ren-Zhi Liu Feng-Lei

074203 **Theoretical analysis on cavity-enhanced laser cooling of Er³⁺-doped glasses**
Jia You-Hua Gao Yong Zhong Biao Yin Jian-Ping

074204 **Statistical analysis of shot-to-shot variation of laser fluence spatial distribution**
Han Wei Zhou Li-Dan Li Fu-Quan Wang Fang Feng Bin Zheng Kui-Xin Gong Ma-Li

074205 **Study on the fabrication of gold electrode by laser assembling**
Zhang Ran Lü Chao Xiao Xin-Ze Luo Yang He Yan Xu Ying

074206 **Influence of coupling coefficient on sparseness of slope response matrix and iterative matrix**
*Cheng Sheng-Yi Chen Shan-Qiu Dong Li-Zhi Liu Wen-Jin Wang Shuai Yang Ping
Ao Ming-Wu Xu Bing*

074207 **Crystals modulated by two parameters and their applications**
Li Chang-Sheng

074208 **A block-based improved recursive moving-target-indication algorithm**
Hou Wang Yu Qi-Feng Lei Zhi-Hui Liu Xiao-Chun

074209 **Analysis of electron momentum relaxation time in fused silica using a tightly focused femtosecond laser pulse**
Bian Hua-Dong Dai Ye Ye Jun-Yi Song Juan Yan Xiao-Na Ma Guo-Hong

074210 **Study of 1550 nm low loss single mode all-solid photonic bandgap fibers**
*Cheng Lan Luo Xing Wei Hui-Feng Li Hai-Qing Peng Jing-Gang Dai Neng-Li
Li Jin-Yan*

074211 **Calibration of D-RGB camera networks by skeleton-based viewpoint invariance transformation**
Han Yun Chung Sheng-Luen Yeh Jeng-Sheng Chen Qi-Jun

074401 **Molecular dynamics simulation of the thermal conductivity of silicon functionalized graphene**
Hui Zhi-Xin He Peng-Fei Dai Ying Wu Ai-Hui

074501 **Bifurcation and chaos of some strongly nonlinear relative rotation system with time-varying clearance**
Liu Bin Zhao Hong-Xu Hou Dong-Xiao Liu Hao-Ran

074701 **Fractional derivative dynamics of intermittent turbulence**
Liu Shi-Da Fu Zun-Tao Liu Shi-Kuo

(Continued)

074702 **Drag reduction on hydrophobic transverse grooved surface by underwater gas formed naturally**

Wang Bao Wang Jia-Dao Chen Da-Rong

074703 **A novel lattice Boltzmann method for dealing with arbitrarily complex fluid-solid boundaries**

Shi Dong-Yan Wang Zhi-Kai Zhang A-Man

074704 **Investigation of electromagnetic hydrodynamics propulsion and vector control by surfaces based on a rotational navigation body**

Liu Zong-Kai Gu Jin-Liang Zhou Ben-Mou Ji Yan-Liang Huang Ya-Dong Xu Chi

PHYSICS OF GASES, PLASMAS, AND ELECTRIC DISCHARGES

075201 **Study on the gain characteristics of terahertz surface plasma in optically pumped graphene multi-layer structures**

Liu Ya-Qing Zhang Yu-Ping Zhang Hui-Yun Lü Huan-Huan Li Tong-Tong Ren Guang-Jun

CONDENSED MATTER: STRUCTURAL, MECHANICAL, AND THERMAL PROPERTIES

076101 **Three-dimensional modelling and numerical simulation on segregation during Fe-Pb alloy solidification in a multiphase system**

Wang Zhe Wang Fa-Zhan Wang Xin He Yin-Hua Ma Shan Wu Zhen

076102 **Theoretical study on geometry and physical and chemical properties of oligochitosan**

Li Xin Zhang Liang Yang Meng-Shi Chu Xiu-Xiang Xu Can Chen Liang Wang Yue-Yue

076103 **Atomistic simulation study on the local strain fields around an extended edge dislocation in copper**

Shao Yu-Fei Yang Xin Li Jiu-Hui Zhao Xing

076501 **Characterization of thermal conductivity for GNR based on nonequilibrium molecular dynamics simulation combined with quantum correction**

Zheng Bo-Yu Dong Hui-Long Chen Fei-Fan

076801 **Influences of electrode separation on structural properties of $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ thin films**

Cao Yu Zhang Jian-Jun Yan Gan-Gui Ni Jian Li Tian-Wei Huang Zhen-Hua Zhao Ying

CONDENSED MATTER: ELECTRONIC STRUCTURE, ELECTRICAL, MAGNETIC, AND OPTICAL PROPERTIES

077101 **First-principles study on p-type ZnO codoped with F and Na**

Deng Sheng-Hua Jiang Zhi-Lin

077102 **Ferromagnetism of $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}\text{O}$ synthesized by PLD**

Xie Ling-Ling Chen Shui-Yuan Liu Feng-Jin Zhang Jian-Min Lin Ying-Bin Huang Zhi-Gao

077201 **Theoretical analysis of carbon nanotube photomixer-generated terahertz power**

Jia Wan-Li Zhao Li Hou Lei Ji Wei-Li Shi Wei Qu Guang-Hui

077301 **One-dimensional photonic crystal(1D PC)-based back reflectors for amorphous silicon thin film solar cell**

Chen Pei-Zhuan Hou Guo-Fu Suo Song Ni Jian Zhang Jian-Jun Zhang Xiao-Dan Zhao Ying

(Continued)

- 077302 **Transition metals encapsulated inside single wall carbon nanotubes: DFT calculations**
Liu Man Yan Qiang Zhou Li-Ping Han Qin
- 077801 **Analyses of wavelength dependence of the electro-optic overlap integral factor for LiNbO₃ channel waveguides**
Li Jin-Yang Lu Dan-Feng Qi Zhi-Mei
- 077802 **Synthesization and luminescent properties of blue emitting phosphor Ba₂Ca(PO₄)₂:Eu²⁺**
Wang Zhi-Jun Liu Hai-Yan Yang Yong Jiang Hai-Feng Duan Ping-Guang Li Pan-Lai Yang Zhi-Ping Guo Qing-Lin
- 077803 **Luminescence property of Ce³⁺-Tb³⁺-Sm³⁺ co-doped borosilicate glass under various ultraviolet excitations**
Chen Qiao-Qiao Dai Neng-Li Liu Zi-Jun Chu Ying-Bo Li Jin-Yan Yang Lü-Yun
- 077804 **Bluish-green high-brightness long persistent luminescence materials Ba₄(Si₃O₈)₂:Eu²⁺Pr³⁺, and the afterglow mechanism**
Wang Peng-Jiu Xu Xu-Hui Qiu Jian-Bei Zhou Da-Cheng Liu Xue-E Cheng Shuai

INTERDISCIPLINARY PHYSICS AND RELATED AREAS OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- 078101 **Structured analysis of iron-based amorphous alloy coating deposited by AC-HVAF spray**
Ye Feng-Xia Chen Yan Yu Peng Luo Qiang Qu Shou-Jiang Shen Jun
- 078201 **Nematic ordering pattern formation in the process of self-organization of microtubules in a gravitational field**
Hu Jian Qiu Xi-Jun
- 078401 **Double-threshold cooperative spectrum sensing for cognitive radio based on trust**
Zhang Xue-Jun Lu You Tian Feng Sun Zhi-Xin Cheng Xie-Feng
- 078402 **A novel frequency selective surface of hybrid-element type with sharply decreased stop-band**
Wang Yan-Song Gao Jin-Song Xu Nian-Xi Tang Yang Chen Xin
- 078403 **An imaging algorithm for missile-borne SAR with downward movement based on variable decoupling**
Jiang Huai Zhao Hui-Chang Han Min Zhang Shu-Ning
- 078501 **Synthesis of nanoparticles in SiO₂ by implantation of Cu and Zn ions and their thermal stability in oxygen atmosphere**
Xu Rong Jia Guang-Yi Liu Chang-Long
- 078701 **Response function of angle signal in two-dimensional grating imaging**
Ju Zai-Qiang Wang Yan Bao Yuan Li Pan-Yun Zhu Zhong-Zhu Zhang Kai Huang Wan-Xia Yuan Qing-Xi Zhu Pei-Ping Wu Zi-Yu
- 078702 **Equivalent source reconstruction in inhomogeneous electromagnetic media**
Zhao Chen Jiang Shi-Qin Shi Ming-Wei Zhu Jun-Jie
- 078703 **Mass segmentation in mammogram based on SPCNN and improved vector-CV**
Han Zhen-Zhong Chen Hou-Jin Li Yan-Feng Li Ju-Peng Yao Chang Cheng Lin

(Continued)

- 078704 **Multiscale permutation entropy analysis of electroencephalogram**
Yao Wen-Po Liu Tie-Bing Dai Jia-Fei Wang Jun
- 078801 **Effects of NPB anode buffer layer on the performances of inverted bulk heterojunction polymer solar cells**
Gong Wei Xu Zheng Zhao Su-Ling Liu Xiao-Dong Yang Qian-Qian Fan Xing
- 078901 **Study on cascading invulnerability of multi-coupling-links coupled networks based on time-delay coupled map lattices model**
Peng Xing-Zhao Yao Hong Du Jun Ding Chao Zhang Zhi-Hao
- 078902 **Virtual trajectory model for lane changing of a vehicle on curved road with variable curvature**
Ren Dian-Bo Zhang Jing-Ming Wang Cong

GEOPHYSICS, ASTRONOMY, AND ASTROPHYSICS

- 079201 **Ensemble variational data assimilation method based on regional successive analysis scheme**
Wu Zhu-Hui Han Yue-Qi Zhong Zhong Du Hua-Dong Wang Yun-Feng
- 079401 **Relationship between the quasi-linear diffusion coefficients and the key parameters of spatial energetic electrons**
Zhang Zhen-Xia Wang Chen-Yu Li Qiang Wu Shu-Gui

Zn_{0.97}Cr_{0.03}O的PLD制备及其铁磁性*

谢玲玲 陈水源 刘凤金 张建敏 林应斌 黄志高†

(福建师范大学物理与能源学院, 福建省量子调控与新能源材料重点实验室, 福州 350108)

(2013年10月16日收到; 2013年12月19日收到修改稿)

采用脉冲激光沉积(PLD)的方法在石英基片上制备了不同氧分压(0, 0.05, 0.15和0.20 Pa)下 Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜, 并测量了它们的磁性、XRD谱、PL谱及XPS谱等. 实验结果表明, 所有的样品都具有良好的结晶性, 且都沿 *c*轴高度取向; 磁测量结果表明, 四个样品都具有铁磁性, 且在氧压为0.15 Pa下沉积的薄膜磁性最强; 四个样品都存在 V_{Zn} , O_i , Zn_i , V_{Zn}^- , V_O 缺陷, 尤其是 V_{Zn} 对应共振峰面积占有所有缺陷总面积的百分比和样品的饱和磁化强度具有相同的变化趋势, 表明 Zn_{0.97}Cr_{0.03}O 磁性 与 锌空位密切相关; 四个样品中都存在 Cr^{3+} 离子, 且在 0.15 Pa 时 Cr^{3+} 的含量最多. 上述实验结果表明, Cr^{3+} 和 V_{Zn} 的缺陷复合体是 ZnO:Cr 样品具有稳定的铁磁有序的最有利条件, 它证实了早先的基于第一性原理的计算结果.

关键词: Zn_{0.97}Cr_{0.03}O 薄膜, 铁磁性, 脉冲激光沉积, 光致发光谱

PACS: 71.55.Gs, 75.50.Pp, 78.55.-m

DOI: 10.7498/aps.63.077102

1 引言

ZnO 是一种新型的直接宽带隙半导体 ($E_g = 3.30$ eV), 是一种很重要的光电子材料^[1-4]. 特别是, 2000年 Dietl 等从理论上预言 ZnO 基稀磁半导体具有铁磁性且其居里温度超过室温以后^[5], 进一步激发了人们对 ZnO 稀磁半导体的研究兴趣. Sato 等通过第一性原理的计算预测了 Zn_{1-x}TM_xO ($TM = V, Cr, Fe, Co, Ni$) 的铁磁有序性^[6,7], 认为这些材料的铁磁性起源于磁性离子的双交换铁磁耦合和超交换反铁磁耦合间的竞争. 他们的计算结果还表明, 电子和空穴浓度对居里温度有重要的影响. 到目前为止, 掺 Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni 的 Zn_{1-x}TM_xO 的铁磁性实验上都得以证实^[8-22]. 冯元平小组在实验和理论上证实了 C 掺杂可以使 ZnO_{1-x}C_x 具有室温铁磁性^[23], 我们的计算结果也证明了 ZnO_{1-x}C_x 具有室温铁磁性^[24]. 最近, 有关缺陷态对掺杂 ZnO 的磁性的影响同样是人们关注的热点. Zhan 等研究了氧空位诱导纯 ZnO 薄膜的铁磁性^[25]. Phadnis 等发现 Al

掺杂 ZnO 引起的氧空位诱导了 ZnO 纳米晶的铁磁性^[26]. Zhang 等在 Li-N 共掺杂的 p 型 ZnO 薄膜中证明了正离子空位诱导室温铁磁性^[27]. Kataoka 等研究了 Cu 掺杂 ZnO 纳米线的电子结构和磁性, 发现磁性来源于块体区域 (~ 100 nm) 中的 Cu²⁺ 和 Cu³⁺, 提出氧空位是产生磁性的重要来源^[28]. Xiong 等发现中等量的氧分压(气氛)能弛豫晶格中的应力从而增强铁磁性, 其铁磁性主要来自 Cr³⁺ 和 Cr⁶⁺ 之间的转变. 然而, 过渡的氧会抑制氧空位和铁磁交换^[29]. Liu 等发现氧缺陷, 特别是单离子氧空位对传递铁磁性起关键性作用^[30]. 综上所述, 微结构和缺陷态对掺杂 ZnO 的磁性起关键性作用.

在众多 3d 过渡金属掺杂中, 本实验选择 Cr 为掺杂对象是基于以下两点考虑: 之一, 在温度低于 311K 时 Cr 金属是反铁磁性, 且 Cr 的氧化物中只有 CrO₂ 是铁磁性的, 但是在低的氧分压的条件下中难以形成 CrO₂^[31], 故容易辨别铁磁性来源; 之二, Cr 离子的半径和 Zn 离子的半径比较接近, Cr 比较容易替代 Zn 的晶格位置^[32]. 另一方面, 理

* 国家重点基础研究发展计划(973)项目(批准号: 2011CBA00200)和国家自然科学基金(批准号:11004039)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zghuang@fjnu.edu.cn

论上已经预言Cr掺杂ZnO具有铁磁性^[33–35],尤其是我们小组通过第一性原理计算得到了Cr³⁺和V_{Zn}的缺陷复合体是ZnO:Cr样品具有稳定的铁磁有序的最有利条件^[34].但是,关于Zn_{1-x}Cr_xO的铁磁性实验上还颇具争议,例如Lee等^[36]用溶胶凝胶法制备的Zn_{1-x}Cr_xO薄膜中未发现铁磁性行为;Liu等^[37]在用磁控溅射制备的Cr掺杂的ZnO薄膜中发现铁磁性来源于Zn_i;Hu等^[38]认为Zn_{1-x}Cr_xO的磁性来源于V_{Zn};Wang^[39]认为V_O是Zn_{0.98}Cr_{0.02}O纳米线铁磁性来源;Xiong等发现Ga掺杂能使Cr³⁺与Cr²⁺转化从而提高了饱和磁化强度^[40].因此,非常有必要进一步从实验上澄清其磁性来源,验证Cr³⁺和V_{Zn}的缺陷复合体是否为ZnO:Cr样品具有稳定的铁磁有序的最有利条件.本文采用PLD的方法在石英基片上制备了不同氧分压(0, 0.05, 0.15和0.20 Pa)下Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜,并测量了它们的磁性质、XRD谱、PL谱及XPS谱等,重点研究了缺陷态对Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜磁性的影响.

2 实验

采用脉冲激光沉积的方法在石英基片上制备了系列不同氧压($P_{O_2} = 0, 0.05, 0.15, 0.02$ Pa) Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜.实验所使用的靶是采用固相法制备的.实验的具体参数如下:本底真空: 3.0×10^{-4} Pa;沉积温度: 550 °C,沉积时间: 30 min.实验过程和测量过程用的是无磁性塑料镊子,特别注意避免对样品造成磁性污染.采用MiniFlex-II X射线衍射仪(Cu靶, K α 线, $\lambda = 0.15406$ nm)进行结构分析;采用Verslab分析了样品的磁性.使用荧光光谱仪对样品的光致发光(PL)性质进行分析,激发波长为325 nm.采用XPS对样品进行价态分析,仪器型号为ESCALAB 250.

3 结果与讨论

图1给出了不同氧压下制备的Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜的XRD图谱.从图中可以看出所有样品只在34.4°附近存在对应于纤锌矿ZnO的(002)衍射峰,在XRD的测量误差范围内并没有发现Cr团簇或者是Cr的氧化物对应的衍射峰.这些结果表明Cr的掺杂和氧压的改变并没有改变ZnO纤锌矿的结

构,且所有的四个样品都具有高度c轴取向.这些结果与Xiong等的结论相一致^[29].

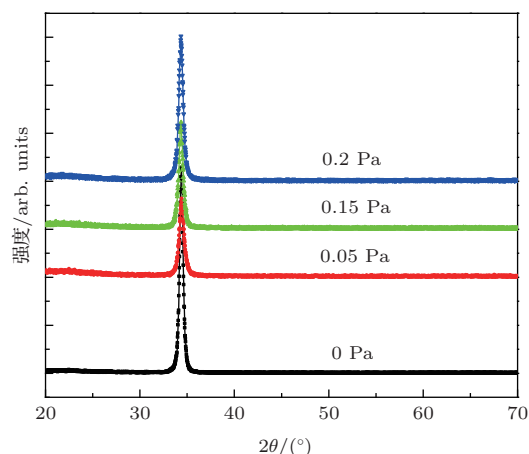


图1 不同氧压下制备的Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜的XRD图谱

为了研究氧压对Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜缺陷的影响,对样品进行了光致发光测量.图2给出了氧压为0, 0.05, 0.15和0.20 Pa下Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜的室温PL谱,从图中可以看到所有的样品都出现波长为383 nm (3.24 eV)的紫外发光峰,即ZnO本征紫外发光峰,其发射的光子能量和ZnO的带隙宽度3.37 eV较为接近,这与Ghosh等实验上获得的峰位是一致的^[41].普遍认为383 nm附近的发光是来源于ZnO的激子发光,源于带边跃迁^[42,43].为了能够清晰地研究氧压对缺陷的影响,根据Djurisic等关于ZnO的缺陷态对应PL谱峰位置的取值^[44–46]对PL谱进行高斯拟合.图3(a)–(d)给出了Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜在不同氧压下PL谱高斯拟合结果.从图中,发现四个样品都在405 nm, 418 nm, 438 nm, 466 nm, 490 nm处都存在共振峰,它们分别对应于V_{Zn}, O_i, Zn_i, V_{Zn}⁻和V_O引起的PL谱.图4给出了图3中四种氧分压下样品的

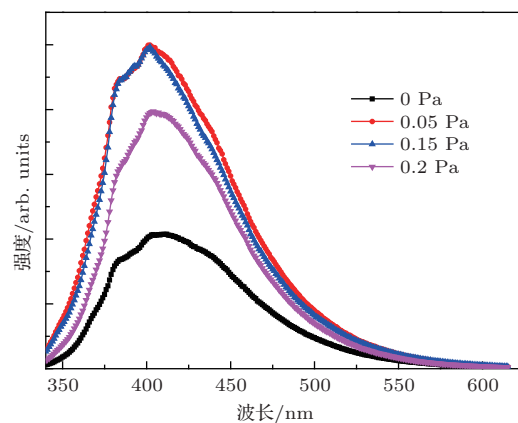


图2 不同氧压下Zn_{0.97}Cr_{0.03}O薄膜的室温PL谱

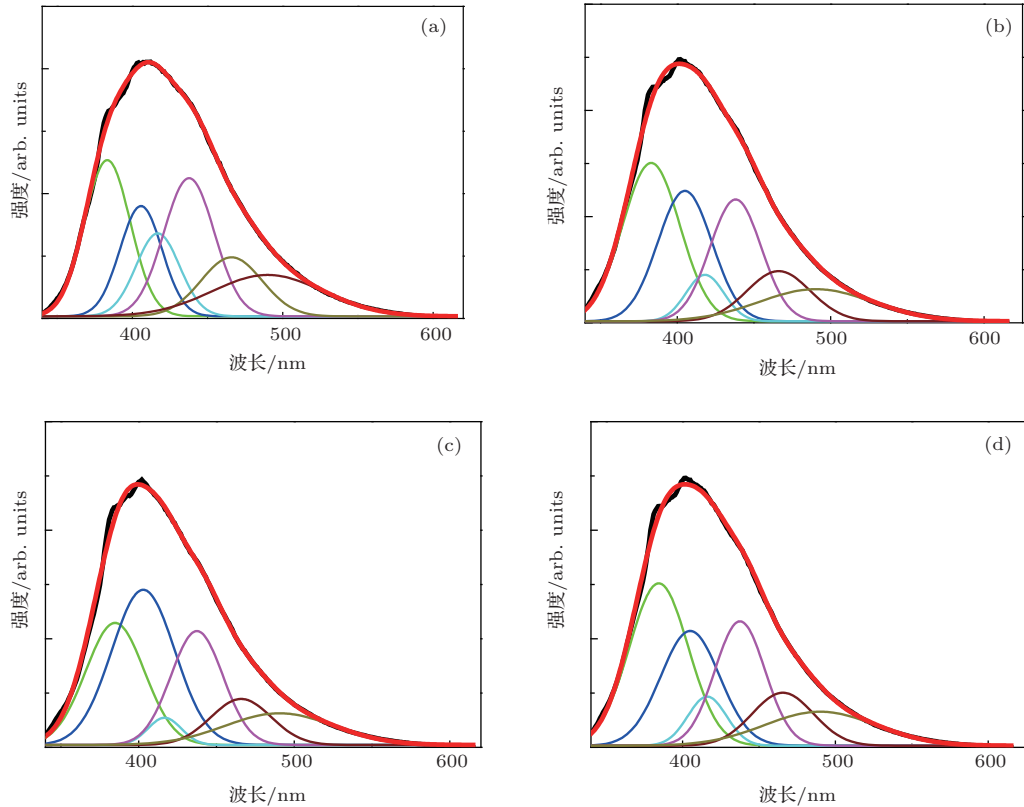


图3 不同氧压下沉积的 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜 PL 谱高斯拟合结果 (a) 0 Pa; (b) 0.05 Pa; (c) 0.15 Pa; (d) 0.20 Pa

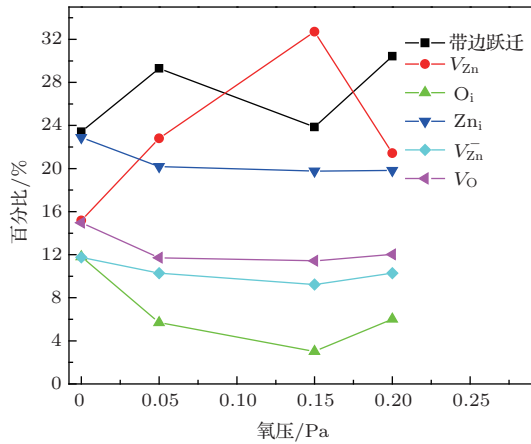


图4 图3中四种 0, 0.05, 0.15 及 0.20 Pa 氧分压下带边跃迁 V_{Zn} , O_i , Zn_i , V_{Zn}^- 和 V_O 引起的 PL 谱的 6 个峰的面积百分比随氧压的变化

带边跃迁、 V_{Zn} , O_i , Zn_i , V_{Zn}^- 和 V_O 引起的 PL 谱的 6 个峰的面积百分比随氧压的变化。从图中发现, 随着氧分压增加, Zn 间隙位和 O 空位的数目减少, 这些将使电子载流子的浓度减少, 其结果是整体上使电子载流子浓度减少。为了证实这个结果, 我们测量了四个样品的霍尔效应, 实验结果表明四个样品都属于 n 型半导体, 它们的电子浓度分别为

$7.26 \times 10^{18} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$, $5.86 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$, $5.29 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$, $2.94 \times 10^{17} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$, 即随着氧分压的增加, 电子浓度减少。同时, 也发现随着氧压的增加, 可能使 V_{Zn}^- 中 1 个电子被 O 夺走, 其结果会让 V_{Zn}^- 转化为 V_{Zn} 。所以, 对于氧压小等于 0.15 Pa 情况, 随着氧压的增加, V_{Zn} (Zn 空位) 的作用相对增强。然而, V_{Zn} 与 O_i 始终沿相反方向变化, 即当氧分压从 0 增加到 0.15 Pa 时, V_{Zn} 对应的峰面积增加, 而 O_i 对应的面积减小; 而当 O 分压进一步增加时, V_{Zn} 对应的峰面积减小, 而 O_i 对应的面积增加。可以认为 0.20 Pa 情况下, Zn 空位的减少与 O 间隙位增加有关。这一实验结果与理论研究结果相符合。Zhang 等发现富氧氛围下 Zn 空位出现的同时伴随着 O 间隙的增加^[47]; 同样报道也出现在文献^[48], 即随着 O 分压的增大, O 间隙也会增加, 它的出现一定程度上抑制了 Zn 空位的形成。对于氧压等于 0.2 Pa 情况, 其 Zn 空位数显著减少, 而 Zn_i 和 V_O 又基本不变, 但载流子浓度却明显下降。产生这一结果应该主要与 O_i 的明显增加有关。当氧分压较高时, 一方面, 薄膜中 Cr 原子接触氧原子的机会增大, 容易形成 Cr_2O_3 ; 另一方面, 薄膜中过剩的氧存在于晶界间隙中, 两者都可能使载流子

浓度下降.

为了确定 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜中 Cr 原子的化合价态, 对所有样品进行了 XPS 测量. 图 5 给出了 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O(0\text{ Pa})$ 样品的典型的 XPS 全谱. 从谱中可以看到样品中只存在 Zn, Cr 和 O 元素, 而 C 是由基底所引起的. 在 XPS 精度范围内并没有测到其他元素存在, 可以排除其他铁磁性杂质对磁性的影响. 图 6 给出了氧压为 0, 0.05, 0.15 和 0.20 Pa 下 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜的 Cr2p 能谱图, 其中 Cr2p_{3/2} 的峰位于 576.7 eV 附近, 区别于 Cr 金属的 574.2 eV 的峰, 说明薄膜中不存在 Cr 金属单质, Cr 元素以化合态存在. 样品的 Cr2p_{3/2} 的峰位和 Cr₂O₃ 的 2p_{3/2} 的峰位 (576.7 eV)^[39] 一致, 这表明 Cr³⁺ 是以替位的形式进入了 ZnO 的晶格位置. 从图中还可以看出, 在沉积氧压为 0.15 Pa 时 Cr2p_{3/2} 的峰位最尖锐, 说明 Cr³⁺ 的含量在 0.15 Pa 时最多.

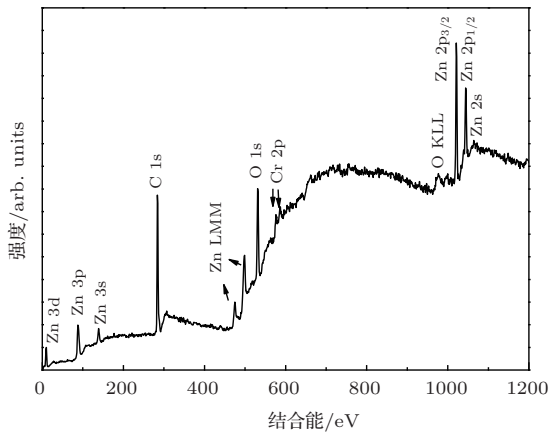


图5 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ (0 Pa) 样品的 XPS 全谱

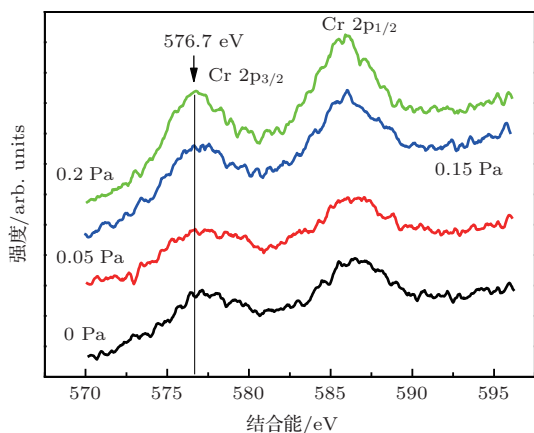


图6 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 样品中 Cr 元素的 XPS 谱图

图 7 给出了 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜的室温磁滞回线. 从图中可以看出, 样品均表现出室温铁磁性.

在氧压为 0 Pa 时样品的饱和磁化强度 M_s 最小为 3.8 emu/cm^3 , 随着氧压的增加样品的饱和磁化强度先增加后减小. 饱和磁化强度在 0.15 Pa 时达到最大值 18 emu/cm^3 . 图 8 给出了 0, 0.05, 0.15 及 0.20 Pa 下沉积的 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜在有场和零场冷却下 $M-T$ 曲线, 其中有场冷却时的磁场为 2000 Oe (1 Oe=79.5775 A/m), 升温测磁化强度施加的外加磁场也为 2000 Oe. 从图中可以看出, 在室温下仍有相当大的磁化强度, 表明四个样品都具有高于室温的居里温度. 关于铁磁性的测量结果类似于 Yilmaz, Hui 和 Lin 等的结果^[49-51]. XRD 和 XPS 的测量结果都表明并未发现其他铁磁杂质和铁磁杂相存在, 而且 Cr 的氧化物中只有 CrO₂ 是铁磁性的, 但是在传统的溅射工艺中难以形成 CrO₂^[31], 因此可以认为样品的铁磁性是内禀的.

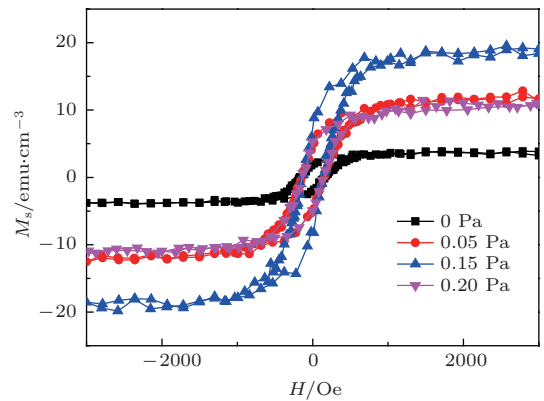


图7 不同氧压下 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 样品的磁滞回线

图 9 给出了饱和磁化强度和图 4 中各样品的 V_{Zn} 对应共振峰面积比随氧压的变化. 从图中可以看出, V_{Zn} 的峰面积和饱和磁化强度的变化密切相关, 二者随氧压的变化有相同的变化趋势, 说明样品的磁化强度与 Zn 空位密切相关. 0.20 Pa 下, Zn 空位的减少与过大的氧压导致的 O 间隙位增加有关. 同时, XPS 谱测量结果表明在沉积氧压为 0.15 Pa 时 Cr³⁺ 的含量最多, 其对应于饱和磁化强度在 0.15 Pa 时最强. 上述磁学、光学和 XPS 分析结果表明, 氧压的变化会引起 V_{Zn} 和 Cr³⁺ 的变化从而影响薄膜的铁磁性. 我们小组在之前的第一性原理计算中, 发现 Cr³⁺ 和 V_{Zn} 的缺陷复合体是 ZnO:Cr 样品具有稳定的铁磁有序的最有利条件^[34], 且认为 ZnO:Cr 体系稳定的长程铁磁有序主要来源于 p-d 杂化作用以及具有 d 轨道特征的 n 型巡游载流子为媒介的铁磁交换作用. 通过与上述理论比较, 不难发现本工作的实验结果与理论结果是非常符合的.

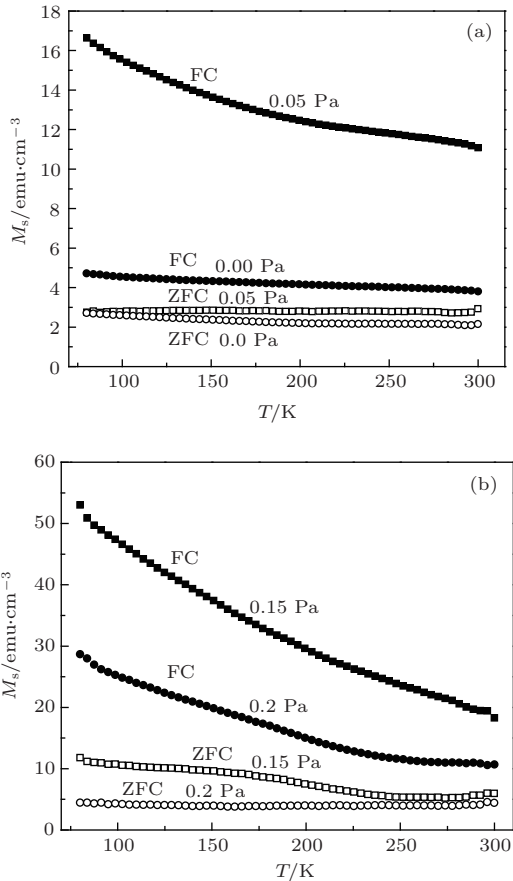


图8 0, 0.05, 0.15 及 0.20 Pa 下沉积的 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜在有场 (FC) 和零场 (ZFC) 冷却下 $M-T$ 曲线

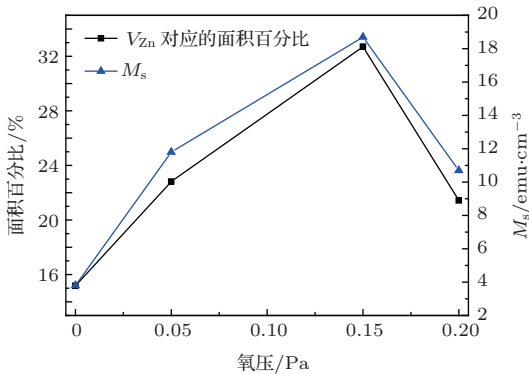


图9 饱和磁化强度和 V_{Zn} 对应共振峰面积占总面积的百分比随氧压的变化

4 结 论

采用脉冲激光沉积的方法在不同的氧压下制备了 $Zn_{0.97}Cr_{0.03}O$ 薄膜, 研究了它们的结构、光学、磁学性质. 所有的样品具有良好的结晶性, 且都沿 c 轴高度取向; XPS 测量结果表明了 Cr^{3+} 是以替位的形式掺杂进入了 ZnO 的晶格位置; PL 谱分析显

示 V_{Zn} 和铁磁性密切相关; 薄膜的磁学性质研究表明, 氧压为 0.15 Pa 时薄膜有最强的铁磁性. 实验结果表明, Cr^{3+} 和 V_{Zn} 的缺陷复合体是 $ZnO:Cr$ 样品具有稳定的铁磁有序的最有利条件, 且与理论结果是非常符合的.

参考文献

- [1] Pearton S J, Abernathy C R, Overerg M E, Thaler G T, Norton D P, Theodoropoulou N, Hebard A F, Park Y D, Ren F, Kim J, Boatner L A 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 1
- [2] Özgür Ü, Alivov Y I, Liu C, Teke A, Reshchikov M A, Doğan S, Avrutin V, Cho S J, Morkoç H 2005 *J. Appl. Phys.* **98** 041301
- [3] Liu C, Yun F, Morkoc H 2005 *J. Mater. Sci. : Mater. Electr.* **16** 597
- [4] Janisch R, Gopall P, Spaldin N A 2005 *J. Phys. : Condens. Matter* **17** R657
- [5] Dietl T, Ohno H, Matsukura F, Cibert J, Ferrand D 2000 *Science* **287** 1019
- [6] Sato K, Yoshida H K 2000 *Jpn. J. Appl. Phys.* **39** L555
- [7] Sato K, Yoshida H K 2002 *Semicond. Sci. Technol.* **17** 367
- [8] Ueda K, Tabata H, Kawai T 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 988
- [9] Saeki H, Tabata H, Kawai T 2001 *Solid State Commun.* **120** 439
- [10] Han S J, Jang T H, Kim Y B, Park B G, Park J H, Jeong Y H 2003 *Appl. Phys. Lett.* **83** 920
- [11] Ramachandran S, Tiwari A, Narayan J 2004 *Appl. Phys. Lett.* **84** 5255
- [12] Cheng X M, Chien C L 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 7876
- [13] Gupta P S A, Rao K V, Owens F J, Sharma R 2003 *Nature Mater.* **2** 673
- [14] Kundaliya D C, Ogale S B, Lofland S E, Dhar S, Metting C J 2004 *Nature Mater.* **3** 709
- [15] Sati P, Hayn R, Kuzian R, Ré gnier S, Schäfer S, Stepanov A, Morhain C, Deparis C, Laügt M, Goiran M, Golacki Z 2006 *Phys. Rev. Lett.* **96** 017203
- [16] Norton D P, Overberg M E, Pearton S J, Pruessner K, Budai J D, Boatner L A, Chisholm M F, Lee J S, Khim Z G, Park Y D, Wilson R G 2003 *Appl. Phys. Lett.* **83** 5488
- [17] Jung S W, An S J, Yi G C, Jung C U, Lee S I, Cho S 2002 *Appl. Phys. Lett.* **80** 4561
- [18] Lee H J, Jeong S Y, Cho C R, Park C H 2002 *Appl. Phys. Lett.* **81** 4020
- [19] Yan L, Ong C K, Rao X S 2004 *J. Appl. Phys.* **96** 508
- [20] Ando K, Saito H, Jin Z W, Jin T, Kawasaki M, Matsumoto Y, Koinuma H 2001 *J. Appl. Phys.* **89** 7284
- [21] Jin Z W, Fukumura T, Kawasaki M, Ando K, Saito H, Sekiguchi T, Yoo Y Z, Murakami M, Matsumoto Y, Hasegawa T, Koinuma H 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 3824

- [22] Weng Z Z, Zhang J M, Huang Z G, Lin W X 2011 *Chin. Phys. B* **20** 027103
- [23] Pan H, Yi J B, Shen L, Wu R Q, Yang J H, Lin J Y, Feng Y P, Ding J, Van L H, Yin J H 2007 *Phys. Rev. Lett.* **99** 127201
- [24] Chen S, Wu Q Y, Chen Z G, Xu G G, Huang Z G 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2011 (in Chinese)[陈珊, 吴青云, 陈志高, 许桂贵, 黄志高 2009 物理学报 **58** 2011]
- [25] Zhan P, Wang W P, Liu C, Hu Y, Li Z C, Zhang Z J, Wang B Y, Cao X Z 2012 *J. Appl. Phys.* **111** 033501
- [26] Phadnis C, Darshana Y I, Igor D, Arjun P, Naushad A, Shailaja M 2011 *J. Appl. Phys.* **110** 114316
- [27] Zhang B Y, Yao B, Li Y F, Liu A M, Zhang Z Z, Li B H, Xing G Z, Wu T, Qin X B, Zhao D, Shan C X, She D Z 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 182503
- [28] Kataoka T, Yamazaki Y, Singh V R, Fujimori A, Chang F H, Lin H J, Chen D C, Huang T J, Xing G Z, Seo J W, Panagopoulos C, Wu T 2011 *Phys. Rev. B* **84** 153203
- [29] Xiong Z, Liu X C, Zhuo S Y, Yang J H, Shi E W, Yan W S 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 052513
- [30] Liu W J, Li W W, Hu Z G, Tang Z, Tang X D 2011 *J. Appl. Phys.* **110** 013901
- [31] Punnoose A, Seehra M S, Park W K, Moodera J S 2003 *J. Appl. Phys.* **93** 7867
- [32] Sato H, Yoshida H K 2001 *J. Appl. Phys.* **40** 334
- [33] Yang L, Yang J H 2009 *Journal of Alloys and Compounds* **486** 835
- [34] Weng Z Z, Huang Z G, Lin W X 2012 *J. Appl. Phys.* **111** 113915
- [35] Wang Q, Sun Q, Jena P, Kawazoe Y 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 162509
- [36] Lee H J, Jeong S Y, Hwang J Y, Cho C R 2003 *Europhys. Lett.* **64** 797
- [37] Liu H, Zhang X, Li L, Wang Y X, Li K H, Gao Z Q, Zheng R K, Ringer S P, Zhang B, Zhang X X 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 072511
- [38] Hu Y M, Li S S, Chia C H 2011 *Appl. Phys. Lett.* **98** 052503
- [39] Wang B, Iqbal J, Shan X, Huang G, Fu H, Yu R, Yu D 2009 *Mater. Chem. Phys.* **113** 103
- [40] Xiong Z, Liu X C, Zhuo S Y, Yang J H, Shi E W, Yan W S, Yao S D, Pan H P 2013 *Appl. Phys. Lett.* **102** 022414
- [41] Ghosh S, Khan G G, Das B, Mandal K 2011 *J. Appl. Phys.* **109** 123927
- [42] Kong Y C, Yu D P, Zhang B, Fang W, Feng S Q 2001 *Appl. Phys. Lett.* **78** 407
- [43] Vanheusden K, Warren W L, Seager C H, Tallant D R, Voigt J A, Gnade B E 1996 *J. Appl. Phys.* **79** 7983
- [44] Djuricic A B, Leung Y H 2006 *Small* **2** 944
- [45] Borseth T M, Svensson B G, Kuznetsov A Y 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 262112-1
- [46] Xu P S, Sun Y M, Shi C S, Xu F Q, Pan H B 2001 *Science China* **30** 358 (in Chinese)[徐彭寿, 孙玉明, 施朝淑, 徐法强, 潘海斌 2001 中国科学 **30** 358]
- [47] Zhang S B, Wei S H, Zunger A 2001 *Phys. Rev. B* **63** 075205
- [48] Clark S J, Robertson J, Lany S Zunger A 2010 *Phys. Rev. B* **81** 115311
- [49] Yilmaz S, Parlak S Özcan, Altunbas M, McGlynn E, Bacakasz E 2011 *Applied Surface Science* **257** 9293
- [50] Liu H L, Fei L H, Yang J H, Xin J, Liu Y, Liu X Y, Gao M 2011 *Solid State Communications* **151** 1864
- [51] Lin Y B, Yang Y M, Zhuang M, Huang S L, Wu L P, Huang Z G, Zhang F M, Du Y W 2008 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **41** 195007

Ferromagnetism of $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}\text{O}$ synthesized by PLD*

Xie Ling-Ling Chen Shui-Yuan Liu Feng-Jin Zhang Jian-Min
Lin Ying-Bin Huang Zhi-Gao[†]

(College of Physics and Energy Fujian Normal University, Fujian Provincial Key Laboratory of Quantum Manipulation and New Energy Materials, Fuzhou 350108, China)

(Received 16 October 2013; revised manuscript received 19 December 2013)

Abstract

Four $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}\text{O}$ films were deposited on quartz wafers in various oxygen environment (0, 0.05, 0.15 and 0.2 Pa) using pulsed laser deposition (PLD). The films were characterized by XRD, PL, XPS, magnetic and electrical properties. Experimental results indicate that: (1) All the films are well crystallized and display a pure $\langle 002 \rangle$ orientation. (2) All the films have ferromagnetism, and the film deposited at 0.15 Pa has the biggest Ms. (3) There exist V_{Zn} , O_i , Zn_i , V_{Zn}^- and V_{O} defects in the four films above, and the percentage of resonance peak area for V_{Zn} to the total area of all defects as a function of oxygen pressure is similar to Ms, which means that the magnetizations of the samples are closely related to Zn vacancy V_{Zn} . There is a Cr^{3+} state in the four films when the content of Cr^{3+} is the largest at 0.15 Pa. To sum up, the experimental results indicate that the substitutive Cr in the oxidation state of t3 and the neutral Zn vacancy in the $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}\text{O}$ films is the most favorable defect complex to maintain a high stability of ferromagnetic order, which is consistent with the calculated results by the first-principle calculations.

Keywords: $\text{Zn}_{0.97}\text{Cr}_{0.03}\text{O}$ films, ferromagnetism, PLD, PL spectrum

PACS: 71.55.Gs, 75.50.Pp, 78.55.-m

DOI: [10.7498/aps.63.077102](https://doi.org/10.7498/aps.63.077102)

* Project supported by the National Fundamental Research Program of China (Grant No. 2011CBA00200), and the National Science Foundation of China (Grant No. 11074039).

[†] Corresponding author. E-mail: zghuang@fjnu.edu.cn

公 告

为实现录用稿件的提前在线全文出版, 我刊采用单篇论文给定编码的目录方案, 编码的设置按照文章的 PACS 代码的前两位数字及稿件录用时间的先后排序.

《物理学报》已加入“中国知网”优先数字出版, 录用文章将先于印刷版期刊在中国知网 www.cnki.net 在线优先发布, 如果作者不愿优先出版可在版权协议里补充说明, 如无补充说明, 编辑部将视为同意授权.

《物理学报》编辑部

物 理 学 报 (WULI XUEBAO)

(半月刊, 1933 年创刊)

2014 年 4 月 第 63 卷 第 7 期

版 权 所 有

ACTA PHYSICA SINICA (Semimonthly First Published in 1933)

Vol. 63 No. 7 April 2014

© 2014 Chinese Physical Society

编 辑 物理学报编辑委员会
(北京 603 信箱 邮政编码 100190)

主 编 欧阳钟灿

主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 物 理 学 会
中国科学院物理研究所
(北京 603 信箱 邮政编码 100190)

出 版 中 国 物 理 学 会

印刷装订 北京科信印刷有限公司

总发行处 北京报刊发行局

订购处 全 国 各 邮 电 局

国外总发行 中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱 邮政编码 100044)

广告经营许可证 京海工商广字第0335号

Society Edited by the Editorial Board of
ACTA PHYSICA SINICA
Address of the Editorial Board
c/o P. O. Box 603, Beijing 100190, China
apsoffice@iphy.ac.cn <http://wulixb.iphy.ac.cn>

Editor-in-Chief Ouyang Zhong-Can

Published by Chinese Physical Society and
Institute of Physics, Chinese Academy of
Sciences
P. O. Box 603, Beijing 100190, China

Distributed by China International
Book Trading Corporation
P. O. Box 399, Beijing 100044, China

ISSN 1000-3290

国内邮发代号: 2-425

国内统一刊号: CN11-1958/O4

国外发行代号: M52 定价: 120 元

公 开 发 行