

不同过渡层对 ZnO 薄膜的影响

李敏君^{1,2} 赵祥敏^{1,2} 赵文海^{2,3} 张 伟^{1,2}

(1.牡丹江师范学院工学院 黑龙江 牡丹江 157012;2.牡丹江师范学院新型碳基功能与超硬材料省级重点实验室 黑龙江 牡丹江 157012;3.黑龙江商业职业学院 黑龙江 牡丹江 157011)

【摘要】采用磁控溅射法制备以 AlN 和 Al₂O₃ 为不同过渡层的 ZnO 薄膜,研究不同过渡层对 ZnO 薄膜的结构、形貌及电学性能影响,结果表明,以 AlN 和 Al₂O₃ 两种过渡层制备的 ZnO 薄膜依然呈 C 轴择优取向,而以 AlN 为过渡层的 X 射线衍射峰的 2θ 角更接近 ZnO 体材料的衍射峰位,且粗糙度更小,晶粒呈圆球密堆结构,膜面更光滑,结晶更致密。

【关键词】过渡层;ZnO 薄膜;射频磁控溅射

0 引言

目前,人们已经探索了多种生长 ZnO 薄膜的技术,但是,在薄膜生长技术中,衬底的选择是极其重要的一个环节,如果没有合适的衬底材料,外延薄膜的质量也会受到影响。大量研究表明,在 Si 衬底上生长 ZnO 薄膜具有重要的意义^[1],然而由于 ZnO 和 Si 之间的晶格失配度大,而且两者热膨胀系数相差很大,所以在 Si 衬底上直接生长出高质量的 ZnO 薄膜不是很理想。为了解决以上问题,在 Si 衬底和 ZnO 外延层之间引入过渡层是目前被广泛采用的方法,过渡层不仅可以阻止衬底的氧化,而且也能缓解由于晶格失配和热失配而引起的张应力^[2]。

从经济角度和 ZnO 与各种基片的晶体结构是否相同、晶格失配率大小和热膨胀系数是否相近等各种因素考虑,我们选用 AlN 和 Al₂O₃ 为过渡层,采用射频磁控溅射^[3]技术,通过对薄膜生长工艺的摸索,研究总结不同过渡层对 ZnO 薄膜的影响,完善其制备工艺,提高 ZnO 薄膜质量,从而改善实用化器件的光电性能。

1 实验

实验分三大组,各组最佳具体参数如表 1 所示。

在表 1(A)组和表 1(B)组得到的样品上,利用表 1(C)组实验参数制备了两块 ZnO 薄膜。样品编号分别为样品 1 和样品 2。

表 1 制备 ZnO/AlN(Al₂O₃)复合膜的工艺参数

编号	(A)组	(B)组	(C)组
靶材	纯 AlN(99.99%)靶	纯 Al ₂ O ₃ (99.99%)靶	纯 ZnO(99.99%)靶
溅射气体(Ar ₂)	40sccm	20sccm	50sccm
射频功率	300W	300W	300W
工作气压	0.3Pa	0.3Pa	0.4Pa
衬底	Si(100)	Si(100)	A、B 组得到的样品
衬底温度	300℃	300℃	250℃
靶基距	5cm	5cm	4cm
溅射时间	60min	45min	50min

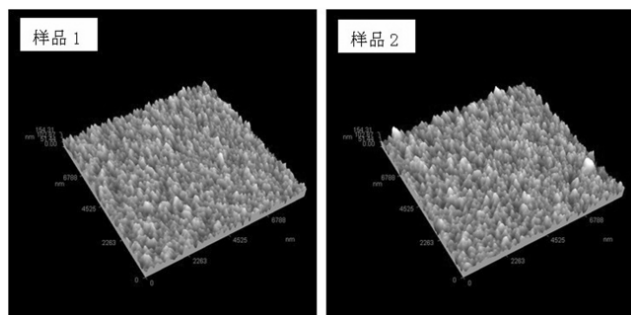


图 1 不同过渡层下 ZnO 薄膜的 AFM 图像

2 结果与讨论

2.1 表面形貌分析

使用 CSPM4000 型的原子力显微镜对样品表面形貌进行观测。图 1 为不同过渡层下 ZnO 薄膜的 AFM 三维图像,其中样品 1 和样品 2 分别为 AlN 过渡层和 Al₂O₃ 过渡层下 ZnO 薄膜的 AFM 三维图像。

从图 1 中可以看出,以 AlN 为过渡层的 ZnO 薄膜粗糙度更小,结晶更致密,晶粒呈圆球密堆结构,膜面更光滑。而以 Al₂O₃ 为过渡层的 ZnO 薄膜粗糙度较大,结晶较稀疏,晶粒大小不均匀,可见引入 AlN 过渡层后,在 AlN 过渡层表面,溅射分子更易成核,更易于形成优质的 ZnO 薄膜。

我们还研究了不同过渡层下 ZnO 薄膜的粗糙度,其中样品 1 的平均表面粗糙度(Sa)为 15.5nm,均方根粗糙度(Sq)为 18.9nm;样品 2 的平均表面粗糙度(Sa)为 16nm,均方根粗糙度(Sq)为 20.2nm。由分析结果可知,以 AlN 为过渡层的 ZnO 薄膜样品的 Sa 和 Sq 均小于以 Al₂O₃ 为过渡层的 ZnO 薄膜,这与 AFM 图像得到的结论相符。

2.2 XRD 测试分析

所有 ZnO 薄膜样品的 X 射线衍射(XRD)测试均是利用 D/MAX-2200 型 X 射线衍射仪测试的。图 2 为 ZnO 薄膜的 XRD 衍射图谱。

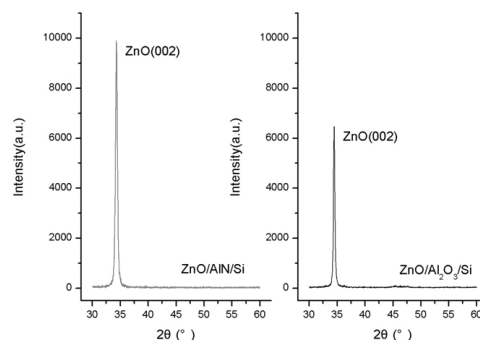


图 2 不同过渡层下 ZnO 薄膜的 XRD 衍射图谱

由图 2 可见,在 2θ=30°~60°扫描范围内,两种样品的 ZnO 薄膜都只有一个衍射峰,由 PDF 卡片库可知,此峰是 ZnO(002)取向的衍射峰。这说明,在此条件下,无论是以 AlN/Si 为过渡层,还是以 Al₂O₃/Si 为过渡层,ZnO 都会有高度的 C 轴择优取向。

为了进一步讨论不同过渡层对 ZnO 薄膜的影响,我们测试了两种样品 ZnO 薄膜(002)衍射峰的衍射角(2θ)和半峰宽(FWHM)。样品 1(ZnO/AlN/Si)的 2θ 为 34.4°,FWHM 为 0.315°;样品 2(ZnO/Al₂O₃/Si)的 2θ 为 34.5°,FWHM 为 0.317°。

由此可见,以 AlN 为过渡层的 ZnO 薄膜的衍射峰位更接近 ZnO 体材料的衍射峰位 34.421°,半峰宽越小,根据 Scherrer 方程 $D=0.9\lambda/\Delta\theta\cos\theta$ (式中,D 为晶粒的尺寸,λ 为 X-ray 波长,Δθ 为衍射峰的半峰宽,θ 为此衍射峰所对应的衍射角)可见,半峰宽越小,结晶质量越高^[4]。因此,可以说明在该生长条件下,引入 AlN 过渡层比引入 Al₂O₃ 过渡层,样品的晶粒更大,结晶质量更高,ZnO 薄膜的结晶质量(下转第 30 页)

※基金项目:牡丹江师范学院重点创新预研项目,项目编号为:Gy201001;牡丹江师范学院科学技术研究项目,项目编号为:Ky201109;牡丹江师范学院研究生学术科技创新项目,项目编号为:yjxscx2012-15mdjnu;黑龙江省研究生创新科研项目,项目编号为:YJSCX2012-378HLJ。

的用语。道德世界被“祛魅”，道德理想、道德传统的神圣和崇高遭到冷落乃至鄙弃，人们对道德价值和道德规范产生怀疑、动摇和放弃。当今社会的发展急需道德理性的回归。

陈鑫在《太极图》中说：“不偏不倚，非行迹之谓，乃神气自然得中之谓也。”身法中正则永不散乱。练习太极拳要求立身中正，动作安舒，无有偏倚，支撑八面，上下相随，使身体各部达到完整如一。太极拳文化所折射出来的这种“中正”的思想道德观念恰好是当代人们所急需的。

前人有“差之毫厘，谬之千里”之警言，一语道出“中正”的重要性。为人之道必须以中正为本。中庸之道不可失，只有保持不偏不倚的原则，才能活的安然舒畅，心平气静，俗琐之事不扰身心。中华民族历来崇尚坚贞的气节，多少仁人志士不卑不亢，豁然坦荡，为后人树立了光辉的榜样。一个人应该具有独立的人格、人品，不为困难和压力所阻，也不卑躬屈膝，俯首权贵。“天行健，君子以自强不息；地势坤，君子以厚德载物”。我们需要坚守信念，培根固本，做一个中正安舒，不偏不倚的人。在“为人处事”和“言行举止”中体现出正义正气之举。在利义面前，提倡先义后利，反对见利忘义。

2.3 和谐是对人生的标榜

在自然环境日益遭到破坏，国际纷争日益加剧的今天，人与人之间、人与社会之间以及人与自然之间的关系变得前所未有的紧张。和谐思想应是世界未来发展的主旋律。演绎和谐理念，体现人际关系和和谐的太极拳文化必然会对当代人产生正面的、良性的影响。

武禹襄在《太极拳谱·十三势说略》中写道：“勿使有缺陷处，勿使有凹凸处，勿使有断续处。周身节节贯串，勿令丝毫间断。”就是指身体之间要达到高度的和谐。太极拳不论整个套路，还是单个动作姿势，都要求身体各部分内外一体，密切配合，强调形与气合，气与意合，意与力合，追求形、气、意三者的和谐统一，重视内外相应、上下相顺、左右相照、阴阳相对、刚柔相济、虚实相将、进退相随。

太极拳通过运用连绵、柔缓、均匀不断的动作不但使身体得到了锻炼，而且以舒缓心情、平和心气，达到心理上的平衡。在慢、柔、静、稳的人体运动中培养人身心的安逸、轻松、和谐、稳健的心理状态，对当前因社会压力造成的不安、浮躁、厌世、贪婪等社会不良心理现象能起到一定地缓解作用。

(上接第38页)得到明显改善^[4]。

2.3 霍尔测试分析

本实验中样品的霍尔测试均采用范德堡方法，在HL5550霍尔测试仪上完成。表2为由霍尔测试仪测试不同过渡层下ZnO薄膜样品的电学参数及导电类型。

表2 不同过渡层下ZnO薄膜样品的电学参数及导电类型

样品	电阻率 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	体载流子 浓度(cm^{-3})	迁移率 (cm^2/Vs)	导电 类型
样品1 (ZnO/AlN/Si)	3.9573 E+01	6.3285 E+18	2.1312 E+01	N
样品2 (ZnO/Al ₂ O ₃ /Si)	6.3983E+01	2.6910 E+17	1.3522 E+01	N

从表2中可以看出，两种样品ZnO薄膜的导电类型也都是N型，而且以AlN为过渡层的ZnO薄膜，其电阻率明显低于以Al₂O₃为过渡层的ZnO薄膜。这是由于ZnO和AlN的晶格失配度比和Al₂O₃的小，热膨胀系数比和Al₂O₃的更相近，所以以AlN为过渡层外延生长的ZnO薄膜结晶质量更高，薄膜内部的应力减小，位错、晶界缺陷等缺陷

(上接第37页)烧坏，触发芯片损坏等等，我们将实验台本身也作为一种电力电子设备交由学生维修，锻炼学生职业能力。

理论课程排进了实验室，配备多媒体投影系统，便于教师演示和讲授。

4 总结

课程改革建设是一项非常复杂的工程，需要学校教师和学生密切配合，软硬件资源同步建设。本课程建设中特别强调了这两条，在注重教学设计的同时，对实验室的硬件和管理模式进行了同步改革，有效

太极拳在阴柔之美中隐藏着阳刚之气，注重防守而不是四处攻击，练拳者要不卑不亢、宽容大度，这种理念和追求对于建立和谐人际关系是不无裨益的，它对于处理当前复杂的人际关系，形成和谐的人际氛围，指导人与人和谐相处的为人处事规则，建立和谐人际关系具有重要启发和借鉴意义。

太极拳运动的哲学基础是“天人合一”的思想。它以人体修炼为核心，注重自然生命精神的张扬和群体生命精神的关照，体现了独具特色的生命意蕴。从一些动作姿势、名称、术语以及象征自然万物大化流行、生生不已的宇宙生成模式的太极图等方面，都与自然界的万物相契合，体现了一种追求返朴归真，与自然合一的和谐理念。

3 结束语

通过对太极拳的欣赏、练习、体悟，能使人变的高尚，变的优雅，从而超越自我。太极拳文化是人的一种确证自身品位的本质力量。太极拳适欲文化思想的渗透可以为降低欲望提供一种可能，中正文化思想的教化可以指导人们在社会互动中的处世态度、道德标准、为人品性，和谐理念的传播可以构建人的完整人格，促使人与自然，人与社会的共同发展，是当今社会急需的一种品质文化。^[5]

【参考文献】

- [1]杨玉冰.太极拳本体论[D].北京体育大学,2007.
- [2]赵连保.论太极拳的道德观[D].河南大学,2006.
- [3]乔超.对太极拳的社会学分析[D].河南大学,2005.
- [4]王岗.太极拳:体认道德伦理的文化教场[J].南京体育学院学报:社会科学版,2011(2).
- [5]邱丕相,王岗.走进主流社会的中国太极拳文化[J].北京体育大学学报,2006(12).
- [6]张靖.太极拳的文化价值探析[J].搏击.武术科学,2011(6).
- [7]王柏利.竞争社会中太极拳的时代价值研究[J].南京体育学院学报:社会科学版,2011(4).
- [8]田文林,胡继云,陈钢.浅析太极拳的中庸之道[J].魅力中国,2008(12).
- [9]姜娟.太极拳和谐文化的研究[J].沈阳体育学院学报,2008(6).

[责任编辑:尹雪梅]

浓度低,电阻率减小。

3 结论

以上研究表明,以AlN为过渡层制备的ZnO薄膜比以Al₂O₃为过渡层制备的ZnO薄膜结构和电学性能要好。而且通过以上研究发现,过渡层是影响ZnO薄膜结构和电学特性的一项重要因素。^[6]

【参考文献】

- [1]赵祥敏,李敏君,张伟,等.不同溅射时间下AlN缓冲层对ZnO薄膜的影响[J].哈尔滨理工大学学报,2012,4(17):114-115.
- [2]赵祥敏,李敏君,张伟,等.磁控溅射制备AlN过渡层ZnO薄膜及其性能研究[J].科技信息,2011(1):52.
- [3]李爽,王凤翔,付刚,等.射频磁控溅射制备ZnO光波导薄膜[J].山东建筑大学学报,2010,25(1):10-11.
- [4]向嵘,王新,姜德龙,等.基于氧化铝缓冲层的Si基ZnO薄膜研究[J].兵工学报,2008(8):1064-1066.

[责任编辑:王静]

的支持了课程建设的实施。^[7]

【参考文献】

- [1]高职高专精品课程建设与专业设置标准及工学结合模式创新实用全书[M].北京:高等教育出版社,2008 11月.
- [2]马如宏.工业工程专业课程设置探讨[J].教育与职业,2006(35).
- [3]成立平.高职专业人才培养研究[M].北京:机械工业出版社,2009(8).
- [4]李秀娟,刘伟.电力电子技术课程改革思考[J].电气电子教学学报,2009(31).

[责任编辑:曹明明]