

高分子辅助沉积法制备氧化物和氮化物薄膜

林媛¹, 杨丹丹¹, 代超¹, 刘升华¹, LUO H M², JIA Q X²

(1. 电子科技大学微电子与固体电子学院电子薄膜和集成器件国家重点实验室 成都 610054;

2. LOS Alamos国家实验室 新墨西哥 美国 87545)

【摘要】高分子辅助沉积法是近年来发展起来的一种薄膜沉积方法。该方法利用高分子与金属键合形成均匀稳定的溶液,将溶液涂覆在基片上后,通过热处理使高分子分解而形成薄膜。该文介绍了使用该方法制备的一些具有代表性的氧化物和氮化物薄膜,包括简单氧化物/氮化物,如TiO₂、GaN和AlN等,复杂氧化物/氮化物如(Ba,Sr)TiO₃、Ti_{1-x}Al_xN等。通过X射线衍射、透射电镜、介电测试和光学测试等方法对薄膜的结构和性能进行了表征和分析,并探讨了基片和工艺条件对结构和性能的影响。这些结果表明高分子辅助沉积法可以广泛应用于制备各种高质量的氧化物和氮化物薄膜。

关键词 氧化物薄膜; 外延生长; 高分子辅助沉积法; 氮化物薄膜

中图分类号 O56

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.05.005

Polymer Assisted Deposition of oxide and nitride films

LIN Yuan¹, YANG Dan-dan¹, DAI Chao¹, LIU Sheng-hua¹, LUO H M², and JIA Q X²

(1. State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices, School of Microelectronics and Solid State Electronics,

University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054;

2. LOS Alamos National Laboratory New Mexico USA 87545)

Abstract Polymer assisted deposition (PAD) is a new thin film deposition technique which has been developed recently. In this technique, aqueous solutions of metal precursors and water-soluble polymers are combined together. This results in homogenous and steady solutions by binding the metal ions to the polymers. After coating the solutions on the substrates, the precursor films will go through a heat treatment to pyrolyze the polymer and form solid films. In this paper, we show some representative oxide and nitride films grown by PAD, including simple oxide/nitride such as TiO₂, GaN, AlN and complex oxide/nitride such as (Ba,Sr)TiO₃ and Ti_{1-x}Al_xN. X-ray diffraction, transmission electron microscopy, dielectric measurement, and optics measurement are used to characterize structural and physical properties of the films. Effects of substrates and growth conditions on structural and physical properties are discussed. These results indicate that PAD can be used widely to prepare high quality oxide and nitride thin films.

Key words epitaxial growth; nitride thin films; oxide thin films; polymer assisted deposition

氧化物和氮化物薄膜由于其特殊的性能在电子薄膜材料中占据着重要的地位。制备高质量的氧化物和氮化物薄膜直接影响着这类功能薄膜材料在器件中的应用。目前制备氧化物和氮化物薄膜材料有很多方法,常用的方法包括物理气相沉积(如磁控溅射、脉冲激光沉积和分子束外延等)、化学气相沉积和溶胶凝胶法等^[1]。物理气相沉积和化学气相沉积通常都需要在真空环境中进行薄膜生长,所以需要复杂和昂贵的真空设备。以溶胶凝胶法为代表的化学溶剂沉积法突破了对真空设备的依赖,体现了设备简单、成本较低,可在大面积制膜等优点。但在溶胶凝胶法中,前驱物溶液需要经过水解和缩合反

应,溶液的稳定性较难控制。尤其在制备多元化合物时,由于各种金属醇盐的水解反应速度存在差别,难以控制薄膜中各种元素的化学计量比。

高分子辅助沉积法是近年发展起来的一种新的化学溶剂沉积方法^[2]。该方法首先将金属无机盐和水溶性的高分子混合,通过金属与高分子键合而形成均匀稳定的前驱物溶液,然后将前驱物溶液涂覆到基片上,最后通过热处理使键合断开高分子分解而形成固体薄膜。除了控制和调节前驱物溶液的粘度以外,高分子另外的重要作用在于:与金属离子形成稳定的键合,保持金属离子在溶液中的分布均匀;同时避免了金属的水解反应,对金属起到保护

收稿日期: 2009-07-01

作者简介: 林媛(1973-),女,教授,博士生导师,“长江学者奖励计划”特聘教授,主要从事电子薄膜材料、微电子封装工艺和材料方面的研究。

作用, 从而提高溶液的稳定性和反应可控性。高分子辅助沉积不仅具有溶胶凝胶法的低成本、大规模, 可以在柔性衬底以及不规则衬底上制备等优点, 而且稳定性和可控性更好, 并且可以精确地控制多元组分薄膜中各个元素的比份。

图1为高分子与Cu、Sr及Ti金属离子以不同的方式形成键合的示意图^[2-3]。其中图1a中的Cu离子直接与高分子聚乙烯亚胺(PEI)键合; 图1b中的Sr离子与乙二胺四乙酸(EDTA)螯合后, 与高分子聚乙烯亚胺(PEI)键合; 图1c中的Ti离子则是与羧化聚乙烯亚胺(PEIC)形成键合。

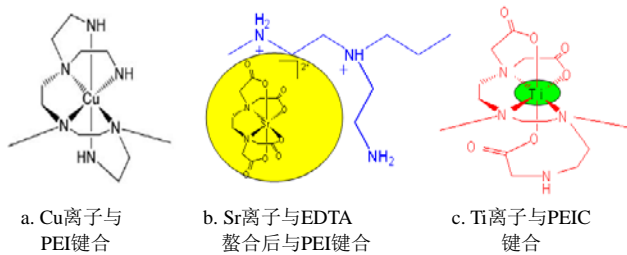


图1 高分子与Cu、Sr及Ti金属离子以不同的方式形成键合的示意图

通过这种新型的薄膜制备方法, 本文成功地制备了多种高质量的氧化物和氮化物薄膜以及可控纳米结构。本文将介绍一些具有代表性的结果。

1 高分子辅助沉积法制备氧化物薄膜

从高分子辅助沉积原理上看, 几乎所有的氧化物薄膜都可以使用这种方法制备。目前, 已成功地制备了Eu₂O₃、TiO₂、ZnO、ZrO₂、HfO₂、ITO、SrTiO₃、(Ba,Sr)TiO₃等薄膜^[2,4-8]。通过优化控制薄膜的退火过程, 可以控制薄膜的结晶形态为非晶, 多晶或者是外延。下面以TiO₂和(Ba,Sr)TiO₃为例, 分别介绍简单氧化物和复杂氧化物薄膜的制备。

1.1 简单氧化物

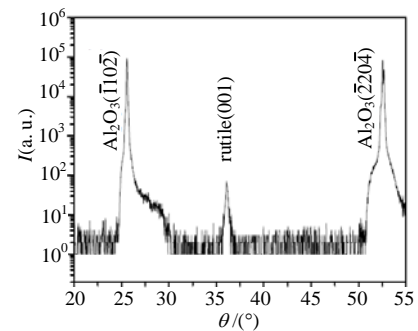
TiO₂薄膜由于具有非常优越的光学、电学和催化等性能而得到广泛应用。TiO₂具有3种晶体结构: 锐钛矿相、金红石相和板钛矿相。作为薄膜材料在电子工业中应用较多的是锐钛矿相和金红石相。金红石相一般在高温下能保持稳定, 而锐钛矿相则是低温稳定态, 常压下当温度高于过400 ℃, 锐钛矿相会转变成金红石相。文献[9]利用基片的应力作用, 曾使用脉冲激光沉积法在高温条件下合成了稳定的锐钛矿相薄膜。使用高分子辅助沉积法, 也成功地在不同基片上获得结晶质量优良的外延的锐钛矿相及金红石相的TiO₂薄膜^[2]。

实验中使用的Ti-高分子前驱物溶液是将乙二胺四乙酸(EDTA)与Ti离子螯合后, 再与高分子聚乙烯

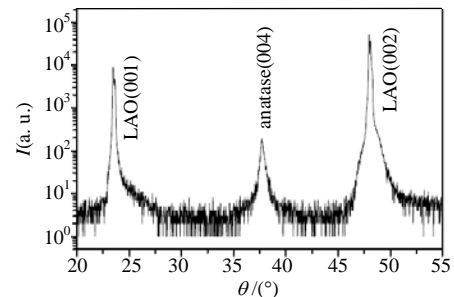
亚胺(PEI)键合所得, 最后通过超滤装置过滤后获得高纯前驱物溶液。

将得到的Ti溶液通过旋转涂胶法覆盖到不同基片上, 然后进行退火。退火炉中保持氧气气氛, 并使样品首先以较慢的升温速率升至510℃, 将高分子热解, 之后继续升温到薄膜材料的结晶温度(950~1100 ℃)以获得外延薄膜。测试结果表明选用不同的基片, 可以诱导生长出不同结构的外延TiO₂薄膜。图2是生长在(1102̄)取向的Al₂O₃基片上和(001)取向的LaAlO₃ (LAO) 基片上的TiO₂薄膜的X射线衍射图。其中图2a和图2b分别是生长在两种基片上的薄膜的 θ -2 θ 扫描图, 可以看到在(1102̄)取向的Al₂O₃基片上生长的TiO₂是金红石相的, 而在(001)取向的LAO基片上生长的TiO₂是锐钛矿相。薄膜均为单一取向。图2c和图2d分别是对两个样品的薄膜和基片做 ϕ 扫描的结果。可以看出两种薄膜均为外延生长。其中在(1102̄)取向的Al₂O₃基片上的金红石相与基片的外延关系为: (011)_{rutile} || (1102̄)_{Al₂O₃} 及 [111]_{rutile} || [202̄1]_{Al₂O₃}。锐钛矿相TiO₂与LAO基片的外延关系为: (001)_{anatase} || (001)_{LAO} and [100]_{anatase} || [100]_{LAO}。

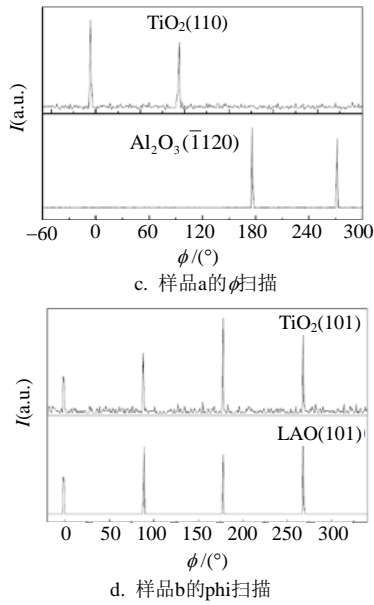
低温锐钛矿相能够在高温下稳定地合成, 主要是由于来自基片晶格的诱导作用, 这一结果与文献[9]使用脉冲激光沉积法制备TiO₂薄膜时观测到的结果类似。这说明了高分子辅助沉积法是从下至上(Bottom-Up)的薄膜生长方式, 在这种生长方式中基片的结构对薄膜成核的初期行为起着至关重要的作用。



a. (1102̄)取向的Al₂O₃基片上的TiO₂薄膜的 θ -2 θ 扫描



b. (001)取向的LaAlO₃基片上的TiO₂薄膜的 θ -2 θ 扫描

图2 TiO_2 薄膜的X射线衍射图

1.2 复杂氧化物

$(\text{Ba},\text{Sr})\text{TiO}_3(\text{BST})$ 是一种铁电材料,它具有优异的介电、铁电及非线性光学等性能,并且通过调整Ba和Sr的比份可以改变材料的相变温度从而调控其物理性能。因此BST薄膜在微电子和光电子领域有着巨大的应用前景。用高分子辅助沉积法制备不同比份的BST薄膜,结果表明该方法制备复杂氧化物时在操作方便和成分控制方面具有独特的优势^[9]。

复杂氧化物所需的前驱物溶液的配制与Ti溶液的配制过程类似,先将乙二胺四乙酸(EDTA)、高分子聚乙烯亚胺(PEI)与含Sr或Ba的金属无机盐混合,然后通过超滤装置过滤后,分别得到Sr溶液和Ba溶液。根据需要制备的BST薄膜的比份,将上述两种溶液与Ti溶液按化学剂量比均匀混合,就得到制备BST薄膜所需的前驱物溶液。

同样将前驱物溶液通过旋转涂胶法覆盖到基片上,然后在氧气气氛中退火。控制退火温度,使前驱物在 510°C 进行高分子热解,然后温度升高到 $900\sim 1\,000^\circ\text{C}$ 使薄膜晶化。

在LAO基片和 $\text{SrTiO}_3(\text{STO})$ 基片上制备了不同Ba/Sr比例的BST薄膜,X射线衍射和高分辨透射电镜对其结构进行表征的结果显示,所有的薄膜均为外延生长。

图3给出了一个典型样品 $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/\text{LAO}$ 的X射线衍射图。其中图3a为 θ - 2θ 扫描,插图是BST(002)峰的摇摆曲线,图3b是该样品在BST(202)和LAO(202)的 ϕ 扫描。可以看到薄膜为外延生长,结晶度

良好,与基片的外延关系为 $(001)_{\text{BST}} \parallel (001)_{\text{LAO}}$ 和 $[100]_{\text{BST}} \parallel [100]_{\text{LAO}}$ 。

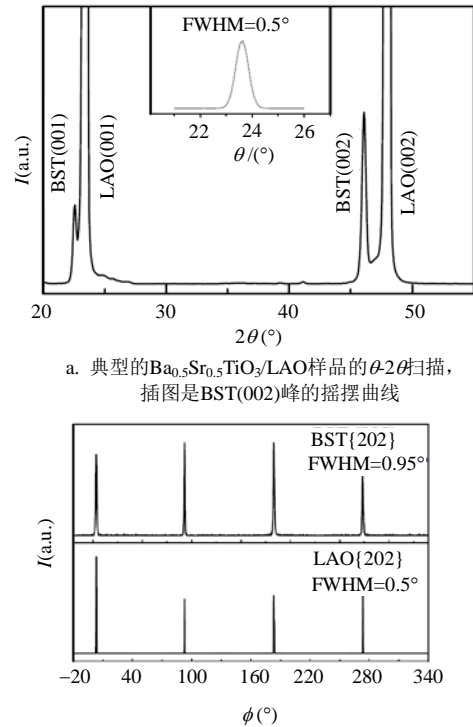
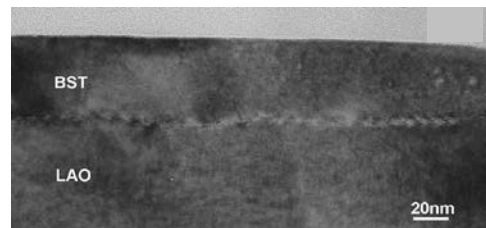
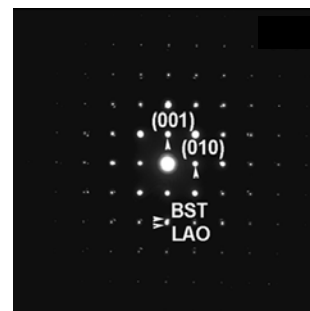
b. 该样品在BST(202)和 $\text{LaAlO}_3(202)$ 的 θ 扫描图3 典型样品 $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/\text{LAO}$ 的X射线衍射图

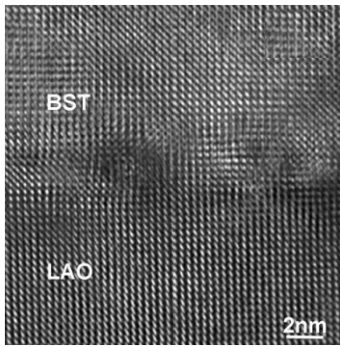
图4是一个Ba:Sr=1:1样品的TEM截面图。从低分辨电镜图像图a中可以看到薄膜表面平整,界面清晰。图4b是电子衍射花样,可以看到来自薄膜和基片的整齐的衍射斑点,通过对衍射斑点的标定,得到薄膜与基片的外延关系与X射线衍射结果一致。图4c为高分辨电镜图像,可以看到薄膜结晶与外延情况很好。



a. 样品的TEM测试结果



b. 电子衍射图



c. 高分辨电镜图像

图4 Ba:Sr=1:1样品的TEM截面图

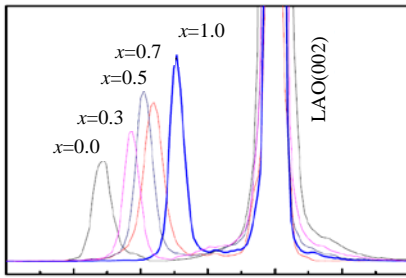


图5 LAO基片上生长的(Ba_{1-x}Sr_x)TiO₃薄膜对应不同Ba/Sr比份样品的X射线衍射 θ - 2θ 扫描

图5是LAO基片上不同Ba/Sr比份样品的X射线衍射 θ - 2θ 扫描图,可以看到薄膜的峰位随Ba比份增大而向低角度移动,表明薄膜的面外晶格常数在增大。面内晶格常数可以通过对薄膜的(202)的衍射峰测量计算得到。具体方法是先将样品的chi角度倾斜 45° ,然后做 θ - 2θ 扫描。图6是计算出来的薄膜的c-轴(面外)和a-轴(面内)晶格常数,虚线给出的是对应块材的晶格数据^[10]。可以看到高分子辅助沉积所得的薄膜的晶格常数与块材数据符合得很好。这一结果说明了高分子辅助沉积法在制备复杂氧化物时可以准确地实现对成分的控制。

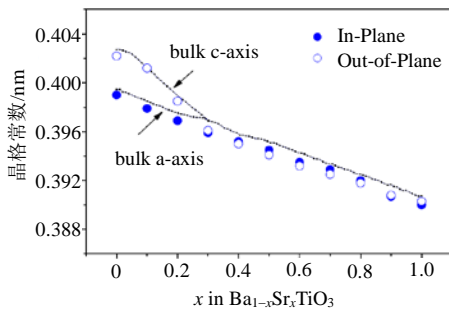


图6 薄膜的c-轴(面外)和a-轴(面内)晶格常数

薄膜的介电性能是通过平面条形电极法进行测试。图7是不同Ba/Sr比份的薄膜的介电常数随电压的变化曲线。可以看到随Ba/Sr比份的不同,介电性

能有明显的变化。由图7可以计算出介电调制率, $tunability = (\epsilon_0 - \epsilon_E) / \epsilon_0$, 其中 ϵ_0 和 ϵ_E 分别是直流偏压电场为0和E时的介电常数。

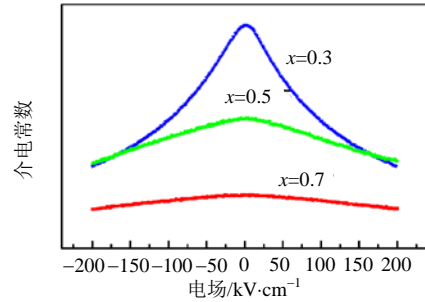


图7 不同Ba/Sr比份的薄膜的介电常数随电压的变化曲线

图8给出了零场下的介电常数 ϵ_0 和介电调制率($E=200$ kV/cm)随Ba/Sr比份的变化曲线。可以看到在Ba比份比较高时,介电调制率较高。作为对比,图8中也给出了文献[11]报道的脉冲激光沉积法制备的BST薄膜的介电常数和介电调制率。测试数据显示,高分子辅助沉积法制备的薄膜的介电性能和脉冲激光沉积法制备的薄膜相当。

从以上两个例子可以看出高分子辅助沉积法制备的简单或复杂氧化物薄膜结构和性能优良,对复杂氧化物的成分控制很好,表明该方法非常适用于各种氧化物薄膜的制备。

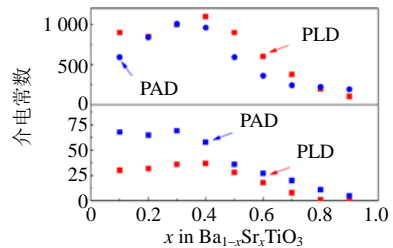


图8 零偏压下的介电常数和介电调制率随Ba/Sr比份的变化曲线

2 高分子辅助沉积法制备氮化物薄膜

和氧化物薄膜类似,氮化物薄膜在微电子和光电器件中也有着广泛的应用。高分子辅助沉积法也可以制备出高质量的氮化物薄膜。氮化物薄膜与氧化物薄膜的制备过程的主要区别在于退火处理时的气氛。氮化物薄膜的热处理在还原气氛中进行,而且需要对薄膜进行氮化处理。下面以GaN、立方相的AlN和Ti_{1-x}Al_xN为例介绍使用高分子辅助沉积法如何制备简单和复杂氮化物。

2.1 简单氮化物

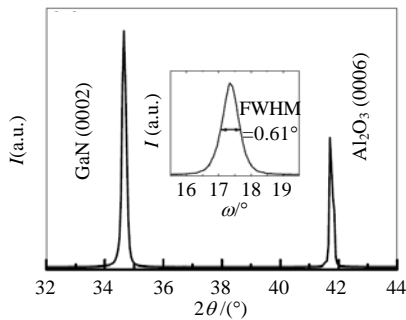
2.1.1 GaN

作为一种宽禁带半导体材料, GaN在高速大功

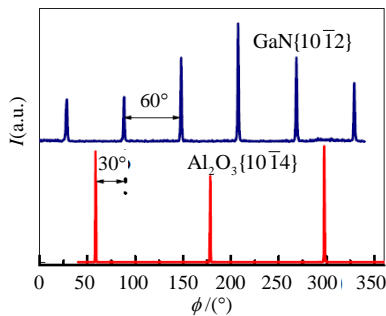
率半导体器件和发光二极管等光电器件中有极大的应用潜力。目前GaN薄膜主要用MOCVD和分子束外延等方法制备^[12-14]，使用高分子辅助沉积法在蓝宝石基片上制备外延生长的GaN薄膜，并对薄膜的结构和物性进行了测试^[15]。

Ga溶液的配制是将氯化镓与高分子聚乙烯亚胺(PEI)混合于乙醇中，并通过超滤装置过滤，得到含Ga的前驱物溶液。

将前驱物溶液通过旋转涂胶法涂覆到(0001)的蓝宝石基片上，然后在氮气和氢气混合气体($N_2:H_2=96\%:4\%$)中以较慢的升温速率升至 510°C 左右使高分子热解，之后在氨气气氛中升温到 $900^\circ\text{C}\sim 1\ 000^\circ\text{C}$ 使薄膜氮化并结晶。



a. GaN/Al₂O₃样品的 θ - 2θ 扫描, 插图是GaN(0002)峰的摇摆曲线



b. 该样品在GaN($10\bar{1}2$)和Al₂O₃($10\bar{1}4$)的 ϕ 扫描

图9 典型GaN样品的XRD射线衍射图

图中可看出薄膜是外延生长，与基片的外延关系为 $(0001)_{\text{GaN}}\parallel(0001)_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 及 $[1\bar{1}20]_{\text{GaN}}\parallel[10\bar{1}0]_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 。

光致发光(PL)测试显示GaN薄膜的PL峰在380 nm左右，与六方结构GaN的带隙相符合。同时在500 nm附近观察到较宽的PL峰，可能与薄膜中残存的O或C杂质有关。通过卢瑟福背散射检测到薄膜中的确存在少量的O与C。

对不同温度下退火的样品做傅里叶红外光谱测试，结果表明在 500°C 退火的样品中已出现Ga-N键。因此，将一组样品在 $96\%\text{Ar}+4\%\text{H}_2$ 混合气体中升温到 900°C 退火，其间完全不引入氨气，结果显示仍能得到外延的GaN薄膜。这表明虽然在没有氨气的气氛下退火，但是，高分子化合物分解的产物就有氮

的成分，就可以提供GaN形成时所需要的氮。但是，电性能的测试表明在Ar/H₂混合气体中退火生成的GaN薄膜比在氨气气氛中退火生成的薄膜电阻率更低，说明无氨退火的样品中可能引入了更多的缺陷态。

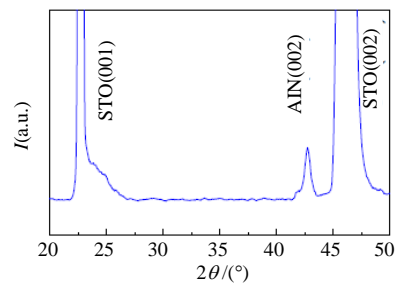
2.1.2 立方相的AlN

AlN的多种优异性能决定了其多方面应用。AlN薄膜已经被广泛应用各种压电器件、宽禁带半导体器件中，在电子器件和集成电路的封装、介质隔离、绝缘材料及蓝紫外发光材料方面也有着重要的应用前景。

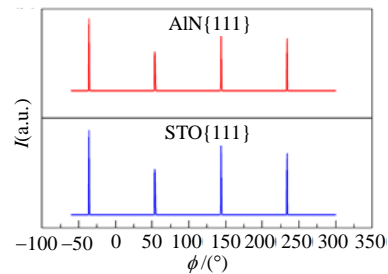
AlN有两种基本晶体结构，六方纤锌矿结构和立方闪锌矿结构。立方结构的AlN正在成为研究的热点，因为除了纤锌矿AlN所具有的性能之外，立方相AlN具有更大的热导率及声波速率。然而，立方相AlN属于亚稳态，较难合成单相材料。

使用高分子辅助沉积法，通过来自基片的应力作用，可以制备出单相立方相AlN外延薄膜^[16]。

与前面的溶液配制方法类似，用乙二醇四乙酸(EDTA)、高分子聚乙烯亚胺(PEI)和含Al离子的无机盐配制含Al的前驱物溶液。将前驱物溶液通过旋转涂胶法覆盖到(001)的SrTiO₃(STO)基片上，然后在氮气和氢气混合气体($N_2:H_2=96\%:4\%$)中升温至 510°C ，使高分子热解，之后在氨气气氛中升温到 $900^\circ\text{C}\sim 1\ 100^\circ\text{C}$ 使薄膜氮化并结晶。



a. AlN/STO样品的XRD θ - 2θ 扫描



b. 该样品在AlN(111)和STO(111)的 ϕ 扫描

图10 典型AlN样品的X射线衍射图

X射线衍射结果表明所得薄膜为外延生长的立方相AlN。图10a为 θ - 2θ 扫描，图10b是该样品在AlN(111)和STO(111)的 ϕ 扫描。得到薄膜与基片

的外延关系为 $(001)_{\text{AlN}} \parallel (001)_{\text{STO}}$ 和 $[110]_{\text{AlN}} \parallel [110]_{\text{STO}}$ 。

光学测试显示AlN薄膜样品在300~1100 nm波段透射率大于75%。样品室温电阻率在 $10^{11} \sim 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间, 具有良好的绝缘性能。

XPS检测到AlN薄膜中也存在少量的O和C, 这是在使用化学溶剂沉积法制备氮化物薄膜中比较常见的问题, 进一步的工艺优化将尽量减少残存的O和C杂质。

2.2 复杂氮化物

复杂氮化物的制备与复杂氧化物的制备类似, 将含不同金属的高分子溶液混合在一起就可以得到复杂氮化物的前驱物溶液。以下介绍用高分子辅助沉积法制备了 $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 薄膜^[16]。

$\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 薄膜同时拥有AlN薄膜的高阻抗, 高透射率和TiN薄膜的高电导特性, 并具有很好的抗氧化性及机械强度, 因而受到人们越来越多的关注。

将如前所述方法配制的Al溶液和Ti溶液按不同的化学计量比混合, 即得到不同比份的 $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 薄膜的前驱物溶液。

将前驱物溶液通过旋转涂胶法涂覆到(001)的STO基片上, 然后在氮气和氢气混合气体($\text{N}_2:\text{H}_2=96\%:4\%$)中以较慢的升温速率升至中升温至510℃左右, 使高分子热解, 之后在氨气气氛中升温到900~1100℃使薄膜氮化并结晶。

X射线衍射和透射电镜结果显示薄膜均为外延生长, 与基片的外延关系为 $(001)_{(\text{Ti,Al})\text{N}} \parallel (001)_{\text{STO}}$ 和 $[110]_{(\text{Ti,Al})\text{N}} \parallel [110]_{\text{STO}}$ 。图11为一个典型样品在 $(\text{Ti,Al})\text{N}(111)$ 和 $\text{STO}(111)$ 的X射线衍射phi扫描图, 表明薄膜为外延生长。

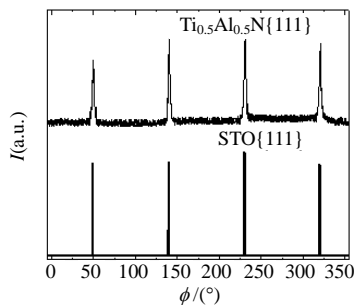


图11 $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}(111)$ 和 $\text{SrTiO}_3(111)$ 的X射线衍射phi扫描图

透射率的测试结果表明随 $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 中Al含量的增加, 透射率逐渐增大。而电性能的测试显示室温电阻率随Al含量增加而增加, 如图12所示。电阻率随温度变化的测试结果进一步显示, 随 $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 中Al含量的增加, 薄膜由金属行为转变为半导体行为。

这些系统的变化说明, 高分子辅助沉积法可以有效控制复杂氮化物中的化学计量比。

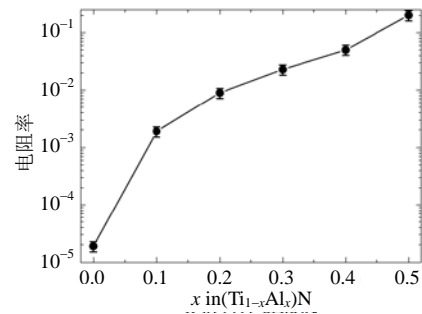


图12 薄膜的电阻率随Ti/Al比例的变化曲线

3 结 论

本文以 TiO_2 、 $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ 、 GaN 、 AlN 及 $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 为例, 介绍了使用高分子辅助沉积法制备简单和复杂的氧化物及氮化物的过程。通过X射线衍射、透射电镜、介电测试和光学测试等方法, 对薄膜的结构和性能进行了表征和分析。结果表明高分子辅助沉积法可以广泛应用于制备各种高质量的氧化物和氮化物薄膜。

感谢Los Alamos National Lab的Dr. Q. X. Jia, Dr. H. Wang, Dr. A. K. Burrell 和 Dr. T. M. McCleskey在本文涉及的工作中的大力合作。

参 考 文 献

- [1] 杨邦朝, 王文生. 薄膜物理与技术[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1994.
YANG Bang-chao, WANG Wen-sheng. Thin films physics and technic[M]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China publishing company, 1994.
- [2] JIA Q X, MCCLESKEY T M, BURRELL A K, et al. Polymer-assisted deposition of metal-oxide films[J]. Nature Materials, 2004, 3: 529-532.
- [3] BURRELL A K, MCCLESKEY T M and JIA Q X. Polymer assisted deposition[J]. Chem Commun, 2008, 1271-1277.
- [4] LIN Y, WANG H, HAWLEY M E, et al. Epitaxial growth of Eu_2O_3 thin films on LaAlO_3 substrates by polymer-assisted deposition[J]. Appl Phys Lett, 2004, 85: 3426-3428.
- [5] LIN Y, XIE J, WANG H, et al. Green luminescent zinc oxide films prepared by polymer-assisted deposition with rapid thermal process[J]. Thin Solid Films, 2005, 492: 101-104
- [6] SHUKLA P, MINOGUE E M, MCCLESKEY T M, et al. Conformal coating of nanoscale features of microporous Anodisc (TM) membranes with zirconium and titanium oxide[J]. Chemical Communications, 2006, 8: 847.
- [7] LI Y, XIE J, LIN Y, et al. Characterization of Indium-Tin-Oxide films grown by polymer-assisted deposition [C]//2005 MRS Spring Meeting. San Francisco. CA: [s. n.], 2005.
- [8] LIN Y, LEE J S, WANG H, et al. Structural and dielectric

- properties of epitaxial $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ films grown on $LaAlO_3$ substrates by polymer-assisted deposition[J]. *Appl Phys Lett*, 2004, 85: 5007-5009.
- [9] PARK B H, HUANG J Y, LI L S, et al. Role of atomic arrangements at interfaces on the phase control of epitaxial TiO_2 films[J]. *Appl Phys Lett*, 2002, 80: 1174-1176.
- [10] MCQUARRIE M, BEHNKE F W. Microstructure and dielectric properties of $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ films grown on $LaAlO_3$ substrates[J]. *J Am Ceram Soc*, 1955, 38: 444.
- [11] GIM Y, HUDSON T, FAN Y, et al. Microstructure and dielectric properties of $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ films grown on $LaAlO_3$ substrates[J]. *Appl Phys Lett*, 2000, 77: 1200.
- [12] HEARNE S, CHASON E, HAN J, et al. Stress evolution during metalorganic chemical vapor deposition of GaN[J]. *Appl Phys Lett*, 1999, 74: 356-358.
- [13] SHI J Y, YU L P, WANG Y Z, et al. Influence of different types of threading dislocations on the carrier mobility and photoluminescence in epitaxial GaN[J]. *Appl Phys Lett*, 2002, 80: 2293-2295.
- [14] SHEN X Q, MATSUHATA H, OKUMURA H. Reduction of the threading dislocation density in GaN films grown on vicinal sapphire (0001) substrates[J]. *Appl Phys Lett*, 2005, 86: 021912.
- [15] LUO H, LIN Y, WANG H, et al. Epitaxial GaN thin films prepared by polymer-assisted deposition[J]. *Phys Chem*, 2008, 112: 20535-20538.
- [16] LUO H, LIN Y, WANG H, et al. A chemical solution approach to epitaxial metal nitride thin films[J]. *Adv Mater*, 2009, 21: 193-196.



林媛, 教授, 电子科技大学微电子与固体电子学院教授、博士生导师。1990年考入中国科学技术大学物理系, 1999年在中国科学技术大学获凝聚态物理学博士学位, 其后分别在中科院物理所、美国休斯顿大学、美国Los Alamos国家实验室从事博士后研究, 2006年起任美国Intel公司封装测试技术研发中心高级工程师。2008年被评为教育部“长江学者奖励计划”特聘教授, 回国到电子科技大学工作。

代表性学术成果

研究包括电子薄膜材料以及微电子封装工艺和材料。在薄膜外延生长和微结构工程方面开展了一些具有国际影响的独创性研究, 如与其合作者共同发明了一种低成本高效率的薄膜生长法(高分子辅助沉积法); 在利用微结构调控薄膜性能的研究中, 她提出了引入面内各向异性的应变、镶嵌非晶纳米颗粒等具有创新性的方法, 并率先使用高分辨X射线衍射法精确测试薄膜中的应变梯度等微结构参数。近10年来, 在*Nature Materials*、*Angewandte Chemie International Edition*、*Advanced Materials*、*Applied Physics Letters* 等高水平国际刊物上发表学术论文50余篇, 其论文被国际同行引用400余次; 获中国发明专利2项, 美国发明专利1项, 待授权美国发明专利2项。

编辑 张俊