

ZnO基紫外探测器的研究进展与关键技术

韦敏, 邓宏, 王培利, 李阳

(电子科技大学微电子与固体电子学院, 成都 610054)

摘要 近年来, ZnO基紫外探测器由于其优异的光电特性, 已成为紫外探测领域研究中的新热点之一。介绍了近年来国内外不同结构类型的 ZnO基紫外探测器的研究状况, 并对影响探测器性能的 ZnO的光电导特性、薄膜微结构、掺杂、金半接触等关键技术进行了探讨, 指出推动 ZnO紫外探测器实用化进程的关键在于制备高质量的掺杂薄膜以及进一步提高器件的量子效率。

关键词 ZnO 紫外探测器 MSM 光响应度 量子效率

Research Progress and Key Technologies of ZnO-based UV Detectors

WEI Min, DENG Hong, WANG Peili, LI Yang

(School of Microelectronics and Solid-State Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract Recently, ZnO has been regarded as promising materials for UV detectors due to its predominant optical and electrical properties. In this paper, the structures and performances of various types of ZnO-based UV detectors are introduced, and the latest progress and key technologies of ZnO-based UV detectors such as photoconductive property of ZnO, film's microstructure, doping, and metal-semiconductor contact, are described in detail. To sum up, preparing high quality doping film and improving quantum efficiency are critical for the practical process of ZnO UV detectors.

Key words ZnO, UV detector, MSM, spectral responsivity, quantum efficiency

0 引言

ZnO是一种新型的直接宽带隙半导体材料, 室温下带隙为 3.37eV, 激子结合能高达 60meV^[1]。ZnO薄膜在紫外区具有高光电导特性, 与 GaN、SiC 等其它宽带隙材料相比, 化学和热稳定性好, 且原料易得, 电子诱生缺陷较低, 成膜性强和薄膜的外延生长温度较低, 这些都有利于制作高性能的紫外探测器^[2], 因此 ZnO基紫外探测器的研究逐渐成为近年来紫外探测器研究中的热点。由于 ZnO基紫外探测器在苛刻的物理和化学环境中具有很高的稳定性, 性能可靠, 且构造简单, 体积小, 在军事和民用领域将发挥重大的作用。

1 ZnO紫外探测器的研究进展

1.1 MSM结构的 ZnO紫外探测器

与 Si基光电探测器不同, ZnO的离子性较强, 通常情况下制备的 ZnO薄膜都呈现 n型特性, 由于其自补偿的作用很难获得 p型材料, 不利于制备 p-n结。作为替代, ZnO基紫外探测器大多采用金属-半导体-金属(MSM)结构。MSM结构的探测器制作工艺简单, 可同现有的平面场效应晶体管技术兼容, 且具高响应带宽性能, 被广泛应用于光电子集成电路(OEIC)中^[3]。MSM结构 ZnO紫外探测器一般分为光电导型和肖特基型两种。

1.1.1 ZnO紫外光电导探测器

光电导探测器实质上等同于光敏电阻, ZnO材料吸收紫外

光后会生成非平衡载流子, 而载流子浓度的增大会使探测器的电导率增大。1999年 Liu等^[4]与美国军队实验室合作, 在蓝宝石上采用 MOCVD方法外延生长了高质量 N掺杂的 ZnO薄膜, 制成 Al-ZnO-Al结构紫外光电导探测器, 获得了快速的光响应性能, 上升时间达到 1 μ s, 下降时间为 1.5 μ s。该探测器的暗电流较低, 5V下仅有 450nA, 而光响应度达到 400A/W, 其光谱响应曲线在 373nm波长处有一陡峭的截止边, 在 15nm的波段内光响应降低了至少 2个数量级以上。2003年 Basak等^[5]采用溶胶-凝胶方法在蓝宝石上沉积 ZnO薄膜, 制成了 Au-ZnO-Au结构 ZnO紫外探测器, 5V偏压下的暗电流为 22 μ A, 探测器的光响应曲线在 350nm处获得最大光电流, 到 400nm之前光电流值下降了 80%。该器件的最大光响应度为 0.04A/W, 量子效率为 14%, 光响应速度很慢, 光关闭后需 160s才能下降 50%。

国内对 ZnO紫外光电导探测器开展了较多的研究工作, 2003年浙江大学的叶志镇小组^[6]采用 PLD法在 p型 Si衬底(111)上制得 C轴高度择优取向的 ZnO薄膜, 并利用剥离技术和平面磁控溅射法沉积 Al叉指电极, 制备出 Al-ZnO-Al结构紫外光电导探测器, 其阻值约在几十到几百千欧姆之间; 5V偏压下该探测器在 340~370nm紫外区域的光响应度为 0.5A/W; 截止波长为 370nm; 当波长大于 385nm时, 响应度降到 0.1A/W。2005年电子科技大学邓宏小组^[7]采用溶胶-凝胶法在 Si衬底(111)上沉积了 C轴取向的 ZnO薄膜, 用金作叉指电极, 制备了 Au-ZnO-Au结构紫外光电导探测器; 6V偏压下的暗电流为

*国家自然科学基金资助项目(No. 60390073); 预研基金资助项目(ZJ0508)

韦敏: 女, 1975年生, 博士生, 讲师 Tel: 028-83207281 E-mail: minwei@uestc.edu.cn

27.18 μ A;在365nm光照时光电流达到72.07 μ A;探测器的光谱响应峰值和截止带边在370nm。2006年Zheng等^[8]采用PLD方法在玻璃衬底上生长出C轴高度取向的ZnO薄膜,制备了Al-ZnO-Al紫外探测器;5V偏压下器件的暗电流为0.2mA,在0.3 μ W、360nm光照下的光电流为3mA;其光响应特性曲线在370nm有一截止边,峰值响应在360nm处;此器件的响应速度较慢,上升时间为50s,下降时间为120s。2006年边继明等^[9]采用PLD方法在Si(100)衬底上生长C轴高度取向的ZnO薄膜,使用剥离技术,采用电子束蒸发Ti/Pt/Au复合金属制备叉指电极,得到光电导紫外探测器;器件的暗电阻为30k Ω ,在紫外灯照射下光电阻为0.167k Ω 。2006年Xu等^[10]采用射频溅射法在石英基片上沉积了C轴择优取向的ZnO薄膜,使用剥离技术制作平面叉指Al电极(指宽及指间距均为3 μ m,指长为500 μ m)获得Al-ZnO-Al紫外光电导探测器;5V偏压下的暗电流为38 μ A,光响应度为18A/W;探测器的上升时间为100ns,下降时间为1.5 μ s,器件响应速度的提升是由于所制备的ZnO膜具有高结晶度和好的光学特性,载流子的迁移率较高,且指间距比之前的探测器小。

1.1.2 ZnO肖特基结紫外探测器

MSM型的肖特基结探测器本质上为2个肖特基结背靠背串联,当外加偏压后,一只结正偏,另一只结反偏。对于ZnO肖特基结探测器,实际上是在n-ZnO耗尽区内由入射光子诱导产生电子-空穴对,通过检测其光电流实现对紫外光的探测。与光电导探测器相比,肖特基结探测器具有高速和低噪声的性能,但在制造肖特基接触时,需要制作极薄的金属接触电极,要求电极稳定性好并具高紫外光透过性,另外表面态、污染物和表面缺陷也会对势垒高度和暗电流造成影响。

1986年Fabricius等^[11]采用磁控溅射技术在玻璃衬底上沉积高折射率的ZnO薄膜,使用Au作接触电极,与ZnO之间形成肖特基势垒接触,制备成glass-(Cr)-Mn-ZnO-Au结构的紫外探测器,暗电流为40nA/mm²,获得较快的光响应速度,上升时间为20 μ s,下降时间为30 μ s,但光响应度只有 3×10^{-3} A/W,量子效率仅有1%,可能是多晶ZnO薄膜中存在大量的复合中心导致了这种低响应和低量子效率。

2001年Liang等与美国军队实验室合作^[12],用与1999年光电导紫外探测器相同的掺氮ZnO薄膜^[8],采用Ag作叉指电极,制备了Ag-ZnO-Ag结构肖特基紫外探测器。探测器在5V偏压下的暗电流为1nA;光响应度为1.5A/W;光谱响应在370~390nm之间,响应度下降了3个数量级,在370nm处有陡峭的截止边;器件具有快速的光响应,上升时间为12ns,下降到峰值的66%需要50ns,之后有一个较慢的下降过程,大约持续5ms,这一慢的下降过程可能是由陷阱与表面光生载流子复合发光引起的。

2005年Lin等^[13]用MBE方法在蓝宝石衬底上氧等离子辅助下外延生长高质量C轴取向的ZnO薄膜,用Ru作金属电极制备了ZnO MSM紫外光探测器;与Au、Ag相比,Ru具有非常好的热稳定性和化学稳定性;在1V偏压下获得80nA的暗电流和18 μ A的光电流,暗光电流比率达到225,时间常数为13ms。

2005年邓宏小组^[14]以Si(111)为衬底,用水热法制得六棱微管ZnO,并以此为有源区利用平面磁控溅射技术沉积Ag叉指电极,制作出Ag-ZnO肖特基结紫外探测器;5V偏压下,器件的暗

电流为54.1 μ A,在365nm波长光照下的光电流为79.7 μ A;5V偏压工作下,Ag-ZnO紫外探测器在366nm波长处光响应度达到最大值0.161A/W,量子效率为54.7%。

2007年Haruyuki^[15]用水热法生长(0001)ZnO单晶,使用剥离技术,磁控溅射沉积半透明的Pt薄膜制作肖特基结紫外探测器,在-10mV的反向偏压下暗电流密度为 1.3×10^{-10} A/cm²;在365nm波长光照下的光响应度达到0.185A/W,量子效率为62.8%;光谱响应在380nm处有陡峭的截止边,光响应度下降了3个数量级。

1.2 ZnO基p-n结型紫外探测器

1.2.1 ZnO基异质p-n结紫外探测器

由于p型ZnO材料的缺乏,ZnO基紫外光电二极管大多使用n型ZnO和其他p型材料构成异质p-n结,较常见的是在p型Si基片上沉积n-ZnO薄膜。2003年韩国的Jeong等^[16]在p-Si(100)上利用磁控溅射得到ZnO薄膜,制作出p-n结型紫外增强型探测器,加反向偏压30V时,在波长310nm光照下的光响应度为0.5A/W,同时保持了Si对可见光区域的光响应特性,这种n-ZnO/p-Si结型探测器可适用于紫外和可见光区域。中国科技大学的傅竹西小组也做了此类n-ZnO/p-Si异质结的研究^[17,18],制备了紫外增强型光电探测器,明显增强了200~400nm紫外光的响应,同时保持了Si探测器对波长大于400nm波段的光谱响应。

采用MBE、PLD、MOCVD等新方法也制备出由其他p型材料如NiO、SiC、GaN和GaAs等与n-ZnO构成的异质p-n结探测器。2003年Ohta等^[19]在YSZ(111)衬底上采用PLD方法依次生长ITO、掺Li的p-NiO和n-ZnO薄膜,制作出n-ZnO/p-NiO结型紫外探测器,其光电转换的效率很低,仅有0.01%;加6V的反向偏压时,该探测器暗电流密度为2A/cm²,360nm波长光照下的光响应度达到0.3A/W。2005年Alivov等^[20]在p型6H-SiC上用等离子辅助MBE方法外延生长出n-ZnO薄膜,制作出n-ZnO/p-SiC结型紫外探测器,器件的ZnO面和SiC面均可受光,在10V的反向偏压下,探测器的漏电流密度小于 2×10^{-4} A/cm²,7.5V反向偏压下的光响应度为0.045A/W,从SiC面照光时,由于高能光子被厚的SiC衬底吸收,且6H-SiC为间接带隙半导体,其光吸收系数较小,所得的光响应度比从ZnO面照光要小16.7%~10%。

1.2.2 ZnO基同质p-n结紫外探测器

近年来p型掺杂ZnO材料的研究取得了突破,继而开展了ZnO基同质p-n结紫外探测器的研究。2005年Moon等^[21]在GaAs衬底上利用磁控溅射技术生长出一层900nm的p-ZnO,再在p-ZnO层上溅射一层300nm厚的n-ZnO,首次制作出p-n同质结型紫外探测器,在3V偏压下,p-n同质结紫外探测器的光生电流为2mA。2006年Mandalapu等^[22]报道了用掺Sb的p-ZnO和掺Ga的n-ZnO薄膜构成的同质结紫外探测器,采用MBE方法在p-Si(111)衬底上依次生长出掺Sb的p-ZnO层和掺Ga的n-ZnO层,电子束蒸发厚度为400nm/10nm的Al/Ti金属作成欧姆电极,p-n结显示出良好的整流特性,3V反向偏压下的暗电流密度为4.8mA/cm²,对紫外光有较好的响应。

2 MgZnO基紫外探测器

ZnO基三元化合物半导体材料对于带隙的调制尤其重要,

其中被广泛研究的是 $Mg_xZn_{1-x}O$ 。 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜是由 ZnO 和 MgO 按一定组分固溶而成, Mg^{2+} 和 Zn^{2+} 在各自氧化物晶格中互相替换形成 $Mg_xZn_{1-x}O$, 可随 Mg 组分的变化实现带隙在 $3.3(\text{ZnO}) \sim 7.8\text{eV}(\text{MgO})$ 之间连续可调^[23], 且 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜具有与纯 ZnO 相近的优异的光学性能, 对可见和近红外光的透射率约 85%, 吸收边在紫外光区随 Mg 含量的增加蓝移, 所吸收的紫外光对应的波长范围为 160~375nm, 该范围覆盖了地球上大气臭氧层吸收的主要窗口 200~280nm, 所以可利用 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜实现太阳盲区紫外光的探测。

2001 年 Yang 等^[24] 与美国军队实验室合作, 在蓝宝石衬底上采用 PLD 方法生长出 $Mg_{0.34}Zn_{0.66}O$ 薄膜, 用 Cr/Au 作欧姆接触叉指电极, 首次制作出 MgZnO 基光电导型紫外探测器, 在 5V 偏压下探测器的暗电流只有 40nA, 用 $0.1\mu\text{W}$ 波长为 368nm 的光照射时光电流跳变到 1240nA, 由此得光响应度为 1200A/W。 $Mg_{0.34}Zn_{0.66}O$ 紫外探测器的光谱响应曲线如图 1, 峰值响应在 308nm, 截止波长在 317nm, 响应度下降了 3 个数量级, 而对可见光的响应则至少下降了 4 个数量级; 该探测器的响应速度很快, 10%~90% 的上升时间和下降时间分别为 8ns 和 1.4 μs 。2003 年同小组的 Takeuchi^[25] 报道了以 $Mg_xZn_{1-x}O$ 薄膜横向 Mg 含量梯度分布制作的单片多通道的紫外探测器阵列。 $Mg_xZn_{1-x}O$ 中的 Mg 组分 x 从 0~1 分为 25 种, 可以对 290~380nm 区域不同波长的紫外光进行探测, 单个探测器响应时间为 8ns。此后, 该小组^[26] 又用 SrTiO_3 作缓冲层以改善 Si 与 MgZnO 薄膜之间的晶格匹配, 采用 PLD 方法在 Si(100) 基片上沉积 $Mg_{1-x}Zn_xO$ 薄膜, 采用金制作梳状叉指电极, 制备了 Si 片上的深紫外探测器; 当 $0.62 \leq x \leq 1$ 时, 用来探测 157~230nm 的紫外光, 效率优于 AlGaN、SiC 及金刚石等其他宽禁带材料; 其紫外响应谱如图 2 所示, 其中的小图为 MSM 叉指结构示意图, 这种基于 $Mg_{0.68}Zn_{0.32}O$ 的光导型紫外探测器对 225nm 深紫外光有很好的响应度, 其紫外-可见光抑制比大于 1 个数量级。

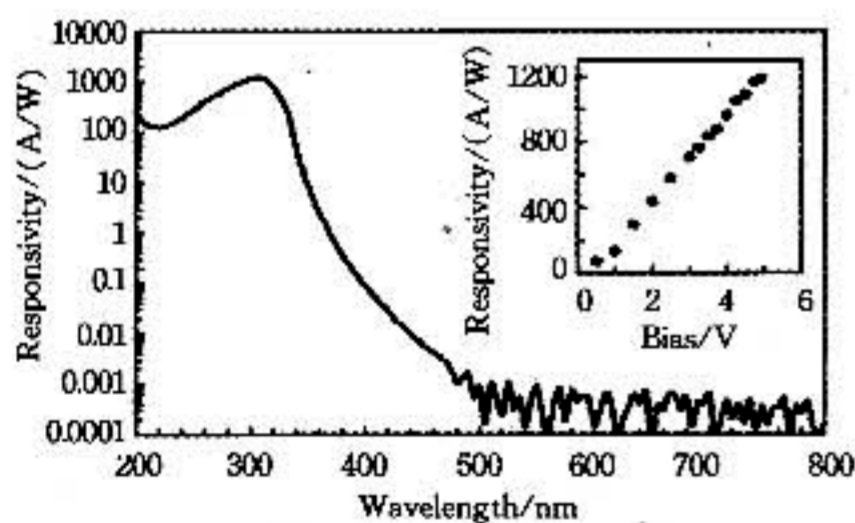


图 1 $Mg_{0.34}Zn_{0.66}O$ 紫外探测器的光响应特性曲线

Fig. 1 Spectral response of a $Mg_{0.34}Zn_{0.66}O$ UV detector

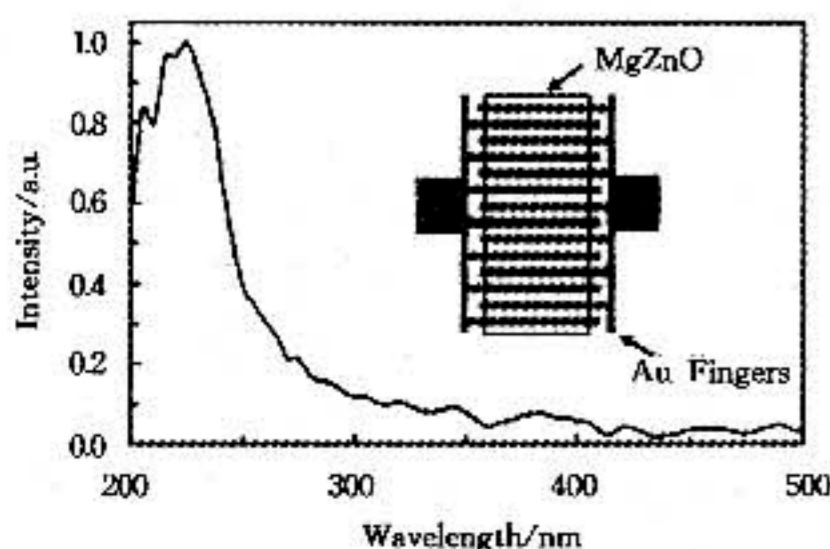


图 2 $Mg_{0.68}Zn_{0.32}O$ 深紫外探测器的结构与光响应曲线

Fig. 2 Spectral response and structure of $Mg_{0.68}Zn_{0.32}O$ deep UV photodetector

2005 年 Koike 等^[27] 采用 MBE 方法, 使用 CaF_2 缓冲层, 在 p 型 Si(111) 上生长 MgZnO 合金薄膜, 并利用 Al 作叉指电极制作出 $Mg_xZn_{1-x}O$ 基光电导紫外探测器, x 分别为 0、0.1、0.26 和 0.34。其光响应如图 3, 在紫外区具有较高的响应度, 并且随着 x 值的增加向短波长方向蓝移, 分别在 375nm、350nm、315nm、300nm 出现截止边。

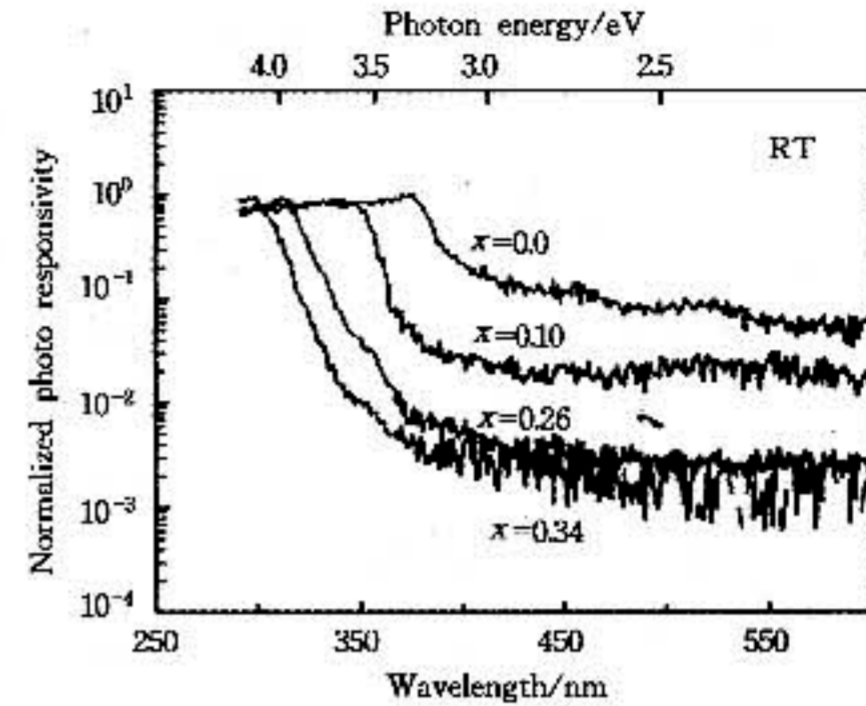


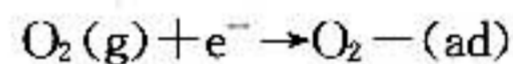
图 3 $Mg_xZn_{1-x}O$ 基光电导紫外探测器的光响应曲线

Fig. 3 Normalized photoresponsivity of $Zn_{1-x}Mg_xO$ photoconduction cells with different Mg content

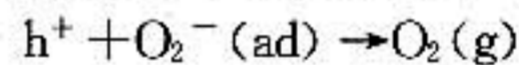
3 ZnO 基紫外探测器的关键技术

3.1 ZnO 光电导特性及微结构的研究

早期的研究^[28] 显示 ZnO 的光电导响应实际上由快速的电子-空穴对的产生/复合过程和慢速的氧吸附/光解析过程两部分组成。后者是一个很缓慢的物理过程, 主要包括两步: (1) 光关闭时吸收氧气, 将 1 个自由电子束缚在陷阱里:



(2) 光照时被吸附在表面或晶界处的氧原子捕获 1 个光生空穴, 同时释放 1 个自由电子:



研究表明^[4], 提高多晶 ZnO 薄膜的光响应速度, 必须避免氧吸附和光解析过程对光电导的变化起主要作用, 若要使快速的光生电子-空穴对光电导起主要作用, 其关键在于提高 ZnO 薄膜的质量, 减少陷阱数量, 降低载流子复合的几率, 还可以通过减少电子浓度以抑制氧吸附和光解析对它的影响。

与 GaN 材料中位错缺陷不同的是 ZnO 材料中多为点缺陷, 通过掺杂和工艺处理能较容易地获得高阻的 ZnO 薄膜, 暗电流可控制在几十或几百纳安, 且同时可具有较高的响应度, 响应速度控制到纳秒级。国内外的学者在 ZnO 薄膜微结构对其紫外光电性能的影响方面做了大量的探索工作。Liu 等^[29] 的研究表明, 通过氧等离子体处理 ZnO 薄膜表面可改善氧空位的微结构缺陷, 使薄膜的结晶度稍有提高, 电阻率则提高了 6 个数量级, 所制备的紫外光电导探测器, 相对于未经氧等离子体处理的探测器样品, 3V 下暗电流由 5mA 下降到 400pA, 明暗电流比由 2 增加到 1000, 响应时间缩短也非常明显, 延迟时间常数由 10min 下降到微秒级。Jeong 等^[30] 在 Si(100) 上射频溅射 ZnO 多晶薄膜, 研究不同氧氢比对 ZnO 薄膜的微结构与发光特性的影响, 实验表明随氧增加, 002 峰取向逐渐减弱, 其带边发光得到加强, 可见光区的发光减弱, 几乎被消除, 显示富氧环境可减小氧缺陷和锌填隙, 且其发光特性与 002 取向的结晶质量无关, 而更多的与薄膜的化学计量比相关。Parmanand^[31] 通过对非平

衡磁控溅射 ZnO 多晶薄膜紫外光电导性能的研究,发现混合取向的多晶 ZnO 薄膜的光吸收带边向长波长移动,为富氧薄膜,且其晶体颗粒较大,杂质容易聚集在晶粒间界上,薄膜为多孔结构,对氧的吸附/解吸附主要发生在薄膜内部,可提高光响应速度。

3.2 掺杂与 ZnO 基三元合金材料的研究

紫外探测器通常要求暗电流尽量小,以有助于提高器件的信噪比,而 ZnO 薄膜的生长多为富锌生长,得到的薄膜一般为低阻呈 n 型导电,通过高温退火可在一定程度上提高薄膜材料的电阻率,但还不能满足器件的要求,要想得到高阻薄膜则需要对其进行掺杂施主或受主杂质。如 Liu^[4] 利用 N 掺杂,采用 MOCVD 方法在蓝宝石上获得了 ZnO 高阻薄膜,在此基础上实现了高性能的紫外光电导探测器(光响应度达到了 400A/W,响应时间达到了微秒级,暗电流控制在纳安级)。Liang^[12] 则利用此掺 N 的高阻薄膜制作了更快、暗电流更小的肖特基结紫外探测器。

ZnO 基三元合金材料 MgZnO 的研究对实现日盲区紫外探测器具有重要意义。制备太阳盲区下(200~280nm)工作的紫外探测器,需要将 ZnO 光学吸收边蓝移到 300nm 以内,近年来的研究表明,通过控制 ZnO 基三元合金材料中 Mg 的组分可实现对 ZnO 的光学禁带宽度的调控,使薄膜光学吸收边向紫外波长方向移动,结合 ZnO 基材料优异的紫外光电导特性,实现高性能、结构简单的日盲紫外探测器是可行的。且掺入 Mg 可取代 ZnO 薄膜中的氧空位缺陷,从而获得高阻薄膜,对降低器件暗电流非常有效。实验证明,Mg_xZn_{1-x}O 基光电导探测器的性能已超过纯 ZnO 紫外探测器, Yang 所制备出的 Mg_{0.34}Zn_{0.66}O 紫外光探测器的各项性能均为最优:暗电流为 40nA,响应度为 1200A/W,紫外/可见光响应抑制比达到了 4 个数量级,10%~90%的上升时间和下降时间分别为 8ns 和 1.4μs。但是另一方面,虽然 Mg_{0.34}Zn_{0.66}O 紫外探测器具有很好的光谱选择性,但响应截止边在 317nm,还没有进入 300nm,不能满足日盲探测器的需求。之后,该研究小组又制备了 Mg_{0.68}Zn_{0.32}O 紫外探测器。该器件对 225nm 深紫外光有较好的响应度,其紫外-可见光抑制比大于 1 个数量级。到目前为止,国内外对 Mg_xZn_{1-x}O 基光电导探测器都开展了较多的研究,但随着 Mg 含量的增加, Mg_xZn_{1-x}O 薄膜的结构发生了变化,研究表明^[26], Mg_xZn_{1-x}O 中 Mg 含量 < 37% 为六角晶体结构, > 62% 为立方晶体结构,在二者之间为混合相。所以六角晶体结构的 Mg_xZn_{1-x}O 紫外探测器的光谱响应范围最多截止于 300nm,而使其进入日盲区需进一步加大 Mg 的含量,此时薄膜微结构的变化会导致响应度急剧下降,如何突破这一难题,制备出具有较高的迁移率和量子效率且吸收边在日盲区的 Mg_xZn_{1-x}O 薄膜是当前的关键问题。

3.3 ZnO 的金半接触

金半结构的 ZnO 紫外探测器中,金属与 n-ZnO 之间需形成良好的欧姆接触或肖特基接触,其关键技术之一是选用功函数合适的金属作为 ZnO 的电极材料,常用的有 Al、Au、Ag 等,有研究表明在它们与 n-ZnO 之间加一层金属功函数小的 Ti、In 作为导电层可得到更小的接触电阻^[16],而且要在 n-ZnO 薄膜上制作良好的欧姆电极,n-ZnO 膜最好高浓度掺杂。在制作肖特基结的 ZnO 紫外探测器时,反应活性差的 Au、Ag、Pt 和 Pd 等常被用作金属接触材料,与 n-ZnO 之间形成相对高的肖特基势垒

0.6~0.8eV^[32],而有资料显示 Au/n-ZnO 肖特基结的热稳定性在高于 330K 时会出现严重的问题,Ag/n-ZnO 肖特基结的热稳定性较前者要好些。需要引起注意的是,这些肖特基结形成的势垒高度和暗电流不一定由制备工艺决定,其很大程度上受到界面缺陷状态的影响。Haruyuki^[15] 在用单晶 ZnO(0001) 制作肖特基结紫外探测器时,研究了不同极性面对形成肖特基结和紫外光响应的影响,证实在 Zn 极性表面形成的肖特基势垒质量和紫外光响应性能都优于氧极性表面,两种极性表面的探测器光响应度分别为 0.185A/W 和 0.09A/W,量子效率为 62.8% 和 31.0%,进而对 ZnO 单晶衬底的表面缺陷研究发现,氧极性表面的缺陷密度比 Zn 极性表面大 2 个数量级,表明两种极性表面的紫外光响应不同是因表面化学反应和表面态的影响所致。

4 结束语

综上所述,MSM 结构 ZnO 光电导紫外探测器作为实现其他类型紫外探测器的基础,是 ZnO 紫外探测器研究的重点,且 ZnO 通过掺入 Mg 组成三元合金,可以对其光学带隙进行调整,实现可选择波长的紫外探测,是紫外探测器研究中的重要方向。另外近年来 p 型掺杂技术的发展使实现 ZnO 紫外光电二极管器件成为可能。而推进 ZnO 紫外探测器实用化的关键是制备高质量的、光电性能优异的掺杂 ZnO 薄膜,使其具有较高的迁移率、陡峭的截止边、较高的量子效率和低的表面复合率,需要对 ZnO 基探测器材料的微结构与制备工艺和生长条件进行更深入的研究。

参考文献

- 1 Look D C, et al. Point defect characterization of GaN of ZnO. Mater Sci Eng B, 1999, 66(1-3): 30
- 2 赵懿琨, 连洁. ZnO 基紫外探测器的研究进展. 材料导报, 2006, 20(1): 109
- 3 史常忻, 朱红卫. MSM 光电探测器. 中国科学基金, 1997, 2: 139
- 4 Liu Y, Gorla C R, Liang S, et al. Ultraviolet detectors based on epitaxial ZnO films grown by MOCVD. J Electron Mater, 2000, 29: 69
- 5 Basak D, et al. Photoconductive UV detectors on sol-gel-synthesized ZnO films. J Cryst Growth, 2003, 256: 73
- 6 叶志镇, 等. ZnO 光电导紫外探测器的制备和特性研究. 电子学报, 2003, 31(11): 1605
- 7 Xu Ziqiang, Deng Hong, et al. Photoconductive UV detectors based on ZnO films prepared by sol-gel method. J Sol-gel Sci Techn, 2005, 36: 223
- 8 Zheng X G, et al. Photoconductive ultraviolet detectors based on ZnO films. Appl Surf Sci, 2006, 253: 2264
- 9 边继明, 李效民, 等. PLD 法生长高质量 ZnO 薄膜及其光电导特性研究. 无机材料学报, 2006, 21(3): 701
- 10 Xu Q A, et al. ZnO thin film photoconductive ultraviolet detector with fast photoresponse. J Cryst Growth, 2006, 289: 44
- 11 Fabricius H, Skettrup T, Bisgaard P. Ultraviolet detectors in thin sputtered ZnO films. Appl Optics, 1986, 25(16): 2764
- 12 Liang S, Sheng H, Liu Y, et al. ZnO schottky ultraviolet

- photodetectors. *J Cryst Growth*, 2001, 225:110
- 13 Lin T K, Chang S J, et al. ZnO MSM photodetectors with Ru contact electrodes. *J Cryst Growth*, 2005, 281:513
 - 14 高晖, 邓宏, 李燕. ZnO肖特基势垒紫外探测器. *发光学报*, 2005, 26(1):135
 - 15 Haruyuki Endo, et al. Schottky ultraviolet photodiode using a ZnO hydrothermally grown single crystal substrate. *Appl Phys Lett*, 2007, 90:121906
 - 16 Jeong I S, Jae Hoon Kim, Seongillm. Ultraviolet-enhanced photodiode employing n-ZnO/p-Si structure. *Appl Phys Lett*, 2003, 83(14):2946
 - 17 王丽玉, 谢家纯, 林碧霞, 等. n-ZnO/p-Si 异质结 UV 增强型光电探测器的研究. *电子元件与材料*, 2004, 23(1):42
 - 18 孙腾达, 谢家纯, 等. ZnO 欧姆电极制备与 n-ZnO/p-Si 异质结紫外光电特性. *中国科学技术大学学报*, 2006, 36(3):328
 - 19 Ohta H, Kamiya M, et al. UV-detector based on pn-heterojunction diode composed of transparent oxide semiconductors. p-NiO/n-ZnO. *Thin Solid Films*, 2003, 445:317
 - 20 Alivov Ya I, et al. Photoresponse of n-ZnO/p-SiC heterojunction diodes grown by plasma-assisted molecular-beam epitaxy. *Appl Phys Lett*, 2005, 86:241108
 - 21 Tae-Hyoung Moon, et al. The fabrication and characterization of ZnO UV detector. *Appl Surf Sci*, 2005, 240:280
 - 22 Mandalapu L J, et al. Homojunction photodiodes based on Sb-doped p-type ZnO for ultraviolet detection. *Appl Phys Lett*, 2006, 88:09213
 - 23 Choopun S, Vispute R D, Yang W, et al. Realization of band gap above 5.0eV in metastable cubic-phase $Mg_xZn_{1-x}O$ alloy films. *Appl Phys Lett*, 2002, (80):1529
 - 24 Yang W, Vispute R D, et al. Ultraviolet photoconductive detector based on epitaxial $Mg_{0.34}Zn_{0.66}O$ thin films. *Appl Phys Lett*, 2001, 78(18):2787
 - 25 Takeuchi I, Yang W, et al. Monolithic multichannel ultraviolet detector arrays and continuous phase evolution in $Mg_xZn_{1-x}O$ composition spreads. *J Appl Phys*, 2003, 94(11):7336
 - 26 Yang W, Hullavarad S S, Nagaraj B, et al. Compositionally-tuned epitaxial cubic MgZnO on Si(100) for deep ultraviolet photodetectors. *Appl Phys Lett*, 2003, 82(20):3424
 - 27 Kazuto Koike, et al. Molecular beam epitaxial growth of wide bandgap ZnMgO alloy films on(111)-oriented Si substrate toward UV-detector applications. *J Cryst Growth*, 2005, 278:288
 - 28 Miller P H, Jr Proc. Photoconductivity Conf. New York: Wiley, 1956. 287
 - 29 Liu Mingjiao, et al. Ultraviolet detection with ultrathin ZnO epitaxial films treated with oxygen plasma. *Appl Phys Lett*, 2004, 84(2):173
 - 30 Jeong Sang-hun, et al. Photoluminescence dependence of ZnO films grown on Si(100) by radio-frequency magnetron sputtering on the growth ambient. *Appl Phys Lett*, 2003, 82(16):2625
 - 31 Parmanand Sharma, Sreenivas K. Analysis of ultraviolet photoconductivity in ZnO films prepared by unbalanced magnetron sputtering. *J Appl Phys*, 2003, 93(7):3963
 - 32 Polyakov A Y, Smirnov N B, et al. Electrical characteristics of Au and Ag Schottky contacts on n-ZnO. *Appl Phys Lett*, 2003, 83(8):1575

(责任编辑 石咏)

《材料导报》研究简报征稿

《材料导报》创刊于1987年,是中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊),中国科学引文数据库来源期刊和CNKI期刊全文数据库收录期刊。

科学技术的飞速发展使研究成果产出的周期缩短,对快速及时发布科学研究新成果的需求也日益增强。为使科技工作者及其单位抢先获得科技成果的首发权和知识产权,本刊将特设一个新栏目——“研究简报”。此栏目以创新性和快速发布研究成果为特色,主要征集学术性强、具有创新思想的研究报道,以促进成果推广和学术交流。

一 投稿要求

(1) 研究简报是学术论文、科技报道的一种新形式,是对某课题研究成果的快速报道,具有原创性和较强的学术性、创新性。

(2) 报道内容应为某一研究课题的最新阶段性或部分新成果与进展。

(3) 文稿应论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字通顺。

(4) 文稿格式与研究论文相同,字数一般不超过6000字。

(5) 文稿必须经过导师和课题组的严格讨论和审查,保证文稿的质量和原创性,投稿作者主要针对博士、教授及研究员等。稿件中需有第一作者简介、E-mail、电话、通讯地址等,以便联系。

(6) 研究课题必须为国家或省部级基金资助项目。

(7) 来稿一律不退,请自留底稿。

二 投稿及刊发

(1) 投稿时请邮寄2份打印稿至重庆市北部新区洪湖西路18号《材料导报》编辑部,请在信封上注明“特投研究简报栏目”,同时将稿件的电子版发送至 mat-rev@163.com。

(2) 投稿一经采用将在3个月内(从投稿之日算起)安排发表,并按本刊标准收取版面费。

(3) 如有一稿多投、剽窃或抄袭行为者,一切后果由作者本人负责。

《材料导报》编辑部