

利用同步辐射光电子能谱技术测量 ZnO/PbTe 异质结的能带带阶*

蔡春锋^{1)2)†} 张兵坡²⁾ 黎瑞锋²⁾ 徐天宁³⁾ 毕岗¹⁾
吴惠桢²⁾ 张文华⁴⁾ 朱俊发⁴⁾

1) (浙江大学城市学院信息与电气工程学院, 杭州 310015)

2) (浙江大学物理系, 杭州 310058)

3) (浙江工业大学之江学院理学系, 杭州 310024)

4) (中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

(2014年3月11日收到; 2014年4月15日收到修改稿)

异质结结构界面的能带带阶是一个非常重要的参数, 该参数的精确确定直接影响异质结的光电性质研究以及异质结在光电器件上的应用. 利用同步辐射光电子能谱技术测量了 ZnO/PbTe 异质结结构的能带带阶. 测量得到该异质结价带带阶为 2.56 eV, 导带带阶为 0.49 eV, 是一个典型的类型 I 的能带排列. 利用变厚度扫描的测量方法发现, ZnO/PbTe 界面存在两种键, 分别是 Pb—O 键(低结合能) 和 Pb—Te 键(高结合能). 在 ZnO/PbTe 异质结界面的能带排列中导带带阶较小, 而价带带阶较大, 这一能带结构有利于 PbTe 中的激发电子输运到 ZnO 导电层中. 该类结构在新型太阳能电池、中红外探测器、激光器等器件中具有潜在的应用价值.

关键词: 能带带阶, 同步辐射光电子能谱, ZnO/PbTe 异质结

PACS: 73.20.At, 79.60.-i, 73.40.Lq

DOI: 10.7498/aps.63.167301

1 引言

IV-VI 族材料体系 (PbTe, PbSe, PbS 等) 由于其特殊的光电性质而受到广泛的研究^[1-4]. 该类材料体系具有窄的直接带隙、较低的俄歇复合率以及正的带隙温度系数等特点, 是制备可工作在室温下的中红外探测器、激光器的重要材料^[5-7]. 室温下 IV-VI 族半导体材料的带隙在 0.3 eV 左右, 对应于波长为 3 μm 左右的光子能量, 随着温度的降低, 带隙变小, 响应波长向长波方向移动. 通过制备量子阱、量子点等量子结构^[8,9] 或掺入 Sr, Sn 等金属形成三元系合金^[10], 该类材料体系能够覆盖整个中红外波段 (2—30 μm). 相比于利用子带跃迁实现在中红外波段应用的量子级联探测器、激光器等, 利用 IV-VI 族材料体系制备中红外器件具有

材料制备容易、器件结构和工艺流程简单、成本低等优点, 因此具有重要的推广应用潜力^[11]. ZnO 等金属氧化物材料是目前得到广泛研究的宽带隙半导体材料, 具有对可见光波段透明、掺杂后导电性能好以及成本低廉的优点, 因此是用来制备光电器件的重要材料^[12,13], 同时也是制备透明电极的重要材料, 在新型太阳能电池的研究领域中有重要应用^[14,15]. PbTe 等 IV-VI 族材料与 ZnO 等金属氧化物组成的新型异质结结构具有很多特点, 已被用于制备高性能中红外光伏探测器^[7]. 由于 PbTe 具有窄的带隙, 能有效吸收太阳能中的红外部分, 所以该结构也能够用于制备高效率太阳能电池^[16]. 对 IV-VI 族半导体材料与 ZnO 组成的异质结界面能带带阶的研究已经有很多. Choi 等^[17] 采用循环伏安法测量了 PbSe 纳米晶 (NC) 与 ZnO 电极界面

* 国家自然科学基金 (批准号: 61275108, 11374259) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: caicf@zucc.edu.cn

之间的能带带阶,发现该类异质结能带带阶随着PbSe NC尺寸的变化而变化,并且当PbSe NC尺寸小于4.5 nm时界面能带排列从类型I转变为类型II. Timp和Zhu^[18]采用紫外光电子能谱仪测量了在ZnO(10 $\bar{1}$ 0)衬底表面覆盖单层PbSe NC时界面能带的变化,发现PbSe NC最高占据态在ZnO表面具有钉扎效应. Li等^[19]利用X射线光电子能谱(XPS)仪研究了在ZnO/c轴取向的蓝宝石衬底上生长的PbSe多晶薄膜,测量得到该异质结结构价带带阶为2.51 eV. Cai等^[20]利用同步辐射光电子能谱(SRPES)仪测量了不同PbSe/ZnO结构界面的能带带阶,其中ZnO/PbSe(111)薄膜异质结价带带阶为2.36 eV. 当PbSe NC尺寸小于5.0 nm时,PbSe NC/ZnO结构能带排列发生从类型I到类型II的转变. 文献^[19, 20]中同一类异质结带阶测量结果存在差别,说明异质结能带带阶与异质结的材料性质(如材料晶体质量、界面态、界面的极化效应等)有关,这就要求必须采用精确的实验测量手段来研究具体的异质结界面能带结构. 在研究和制备新型光电子器件时,异质结界面的能带带阶是一个非常重要的参数,但是,目前对于ZnO/PbTe异质结结构界面的能带排列情况(导带带阶和价带带阶)还未进行过系统的研究,这一数据的精确实验测量对于该异质结在光电器件甚至微电子器件中的应用具有参考价值. 本文利用SRPES技术研究ZnO/PbTe异质结界面的能带排列情况,精确测量了该异质结的导带带阶、价带带阶以及其他一些电子能带信息,这些数据可为利用ZnO/PbTe异质结结构制备中红外探测器、激光器和新型太阳电池及器件性能的优化提供支持.

2 实验

采用超高真空固态源分子束外延(MBE)设备在新解离的单晶BaF₂(111)衬底上生长PbTe外延薄膜. 该设备具有进样室、预处理室和生长室三个腔体,其中生长室本底真空度维持在 1×10^{-7} Pa. BaF₂衬底在洁净环境下被解离后迅速放入进样室并抽真空,然后传入预处理室,通过加热进行表面气体脱附,最后传入生长室开始薄膜外延生长. 生长室中配备了反射式高能电子衍射仪进行衬底表面和PbTe层晶体质量的实时监控. PbTe外延层的生长温度为250 °C,生长速率为1 $\mu\text{m}/\text{h}$,本征的PbTe的载流子浓度为 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. PbTe外延层

生长完成后,将其迅速放入高真空射频磁控溅射仪中,在PbTe层表面生长ZnO层. 射频磁控溅射设备具有进样室和溅射室两个腔体,其中溅射室本底真空度为 1×10^{-4} Pa,以保证溅射源和样品表面的洁净. ZnO层的生长温度为200 °C,采用Ar气和O₂气共溅射,溅射功率为200 W,生长速率约为300 nm/h.

SRPES测量在中国科学技术大学国家同步辐射实验室表面物理实验站开展. 该实验站配备了多腔体的多功能超高真空系统,具有快速进样室、预处理室、电子能谱分析室以及原位生长室等. 其中电子能谱分析室的本底气压维持在 1×10^{-8} Pa以下,以保证样品表面始终保持洁净. 电子能谱分析室中配备了英国VG公司生产的ARUPS10型半球形分析器、Ar离子枪、X射线管、低能电子衍射仪等仪器用于样品表征和表面处理. 同步辐射光源能量覆盖范围为10—300 eV,且连续可变,出射光子的能量分辨率 $E/\Delta E$ 高于1000. 有关该实验站的更详细信息参见文献^[21].

3 结果及讨论

光电子能谱技术是一种广泛应用的测量异质结界面能带排列的技术. 与传统的X射线光源相比,同步辐射光源具有光子能量大、能量范围可调、入射光子线宽小等优点. 文献^[22]报道了利用光电子能谱技术测量界面能带带阶的原理. 图1给出了该原理的示意图. 该方法的理论公式为

$$\Delta E_v = (E_{\text{Pb } 5d_{5/2}}^{\text{PbTe}} - E_{\text{VBM}}^{\text{PbTe}}) - (E_{\text{Zn } 3d}^{\text{ZnO}} - E_{\text{VBM}}^{\text{ZnO}}) - \Delta E_{\text{CL}}, \quad (1)$$

其中, ΔE_v 为异质结价带带阶; ΔE_{CL} 为PbTe层中Pb 5d_{5/2}芯态能级与ZnO层中Zn 3d芯态能级之间的能量差, $\Delta E_{\text{CL}} = E_{\text{Pb } 5d_{5/2}}^{\text{PbTe}} - E_{\text{Zn } 3d}^{\text{ZnO}}$; $(E_{\text{Pb } 5d_{5/2}}^{\text{PbTe}} - E_{\text{VBM}}^{\text{PbTe}})$ 和 $(E_{\text{Zn } 3d}^{\text{ZnO}} - E_{\text{VBM}}^{\text{ZnO}})$ 分别为PbTe层中Pb 5d_{5/2}芯态能级和ZnO层中Zn 3d芯态能级与价带顶的能量差. 实验中需要准备PbTe体材料、ZnO体材料以及ZnO/PbTe异质结三种样品,其中体材料样品分别用于测量芯态能级与价带顶的能量差,而异质结样品用于测量异质结界面两种材料芯态能级之间的能量差. 实验中采用能量为75 eV的光子作为入射光子,这是因为该能量光子对芯态能级和价带电子都有较大的散射截面. PbTe和ZnO材料都具有较好的导电性,样品表面

还通过金属铟与仪器电学导通, 而且所有的谱线都采用 Au 4f_{7/2} 芯态能级进行定标, 所以光电子能谱测量过程中表面荷电效应的影响可以忽略. 光电子能谱对样品表面非常敏感, 样品表面氧化层、吸附气体以及任何的污染都会对结果产生严重影响, 所以在进行光电子能谱测量前, 先用 Ar 离子枪对样品表面进行清洁. 为了减小 Ar 离子轰击对材料晶体质量的破坏, 清洁过程中 Ar 离子枪的加速电压从 3 kV 逐渐调整到 1 kV, 最后样品在 200 °C 温度下退火 30 min.

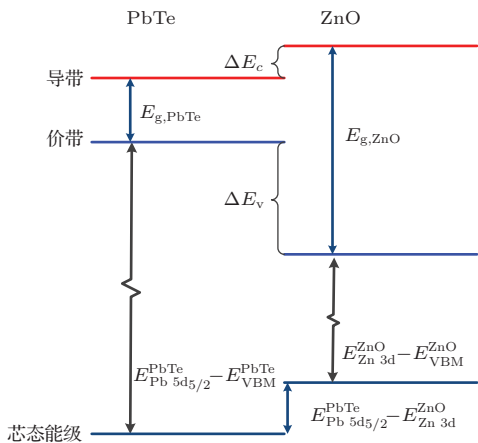


图1 利用光电子能谱技术测量异质结构界面能带排列的原理示意图

图2为PbTe体材料价带和芯态能级的SRPES, 其中内插图放大的价带谱. 确定芯态能级的方法是先使用 Shirley 函数扣除能谱本底强度, 然后再用 Voigt 线型函数拟合芯态能级峰. 采用下列切线方法确定价带顶位置: 一条直线与价带边相切, 另一条直线为能谱的本底计数, 两条直线的交点即为价带顶的位置. 该方法能有效消除由于能量分析器的分辨率以及入射光子的展宽而造成的谱线展宽. 采用不同参数多次拟合方法得到测量结果的不确定度. 对于PbTe体材料样品, Pb 5d_{5/2} 芯态能级与价带顶的能量差

$$E_{\text{Pb } 5d_{5/2}}^{\text{PbTe}} - E_{\text{VBM}}^{\text{PbTe}} = (18.47 \pm 0.05) \text{ eV}.$$

该数据与文献 [23, 24] 得到的结果相符, 与 Si 等 [25] 得到的结果 (PbTe/CdTe(111), 18.29 eV) 以及 McFeely 等 [26] 得到的结果 (18.33 eV) 有一点差别. 本文所得结果与文献 [23, 24] 结果一致主要有以下两方面原因: 一方面是采用同一套 MBE 生长设备进行生长 PbTe 外延薄膜, 生长条件一致, 虽然采用了不同的衬底材料, 但 PbTe 外延薄膜晶体质量接近, 其电子能带结构差异很小; 另一方面是实

验测量都是在中国科学技术大学国家同步辐射实验室表面物理实验站开展, 采用的实验条件相同. 测量结果的一致性验证了采用高真空 MBE 设备制备样品的稳定性及 SRPES 测量技术的可靠性. 而本文结果与文献 [25, 26] 结果的差别可能来自于所采用的测量方法不同, 本文及文献 [23, 24] 采用同步辐射作为入射光源, 而文献 [25, 26] 则采用高能量的 X 射线作为入射光源. 在文献 [23] 中, 我们比较了 SRPES 和 XPS, 从所获得的价带谱和芯态能级峰可以看出, SRPES 有更小的谱线展宽和更好的分辨率.

图3为ZnO体材料价带和芯态能级的SRPES, 其中内插图放大的价带谱. Zn 3d 芯态能级和价带顶的位置采用上述相同方法得到. ZnO 体材料中, $(E_{\text{Zn } 3d}^{\text{ZnO}} - E_{\text{VBM}}^{\text{ZnO}}) = (7.78 \pm 0.05) \text{ eV}$, 该结果与 Chen 等 [27] 得到的结果接近.

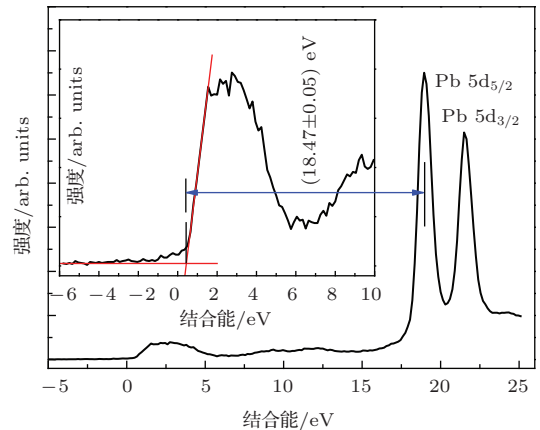


图2 PbTe 体材料价带和芯态能级的 SRPES (内插图放大的价带谱)

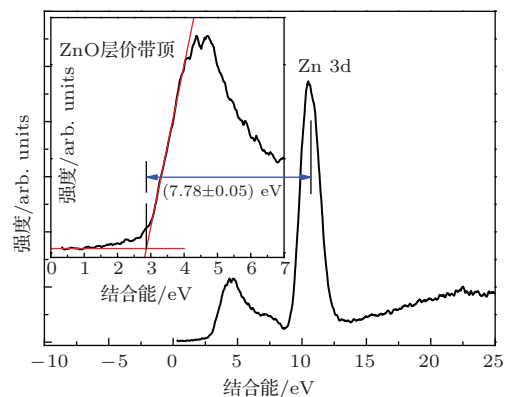


图3 ZnO 体材料价带和芯态能级的 SRPES (内插图放大的价带谱)

图4(a)为ZnO/PbTe异质结样品的SRPES. 光电子在材料中的穿透深度一般只有 3 nm 左右, 而测量 ZnO/PbTe 异质结样品的光电子能谱时需

要同时记录来自 ZnO 层和 PbTe 层被激发的光电子信号, 所以 ZnO 覆盖层的厚度约为 2 nm. 在进行样品表面清洁时, 采用 Ar 离子轻微刻蚀样品表面直至底层 PbTe 的芯态能级峰信号能被探测到. SRPES 中出现了明显的来自 ZnO 层的 Zn 3d 芯态能级峰和 PbTe 层的 Pb 5d 芯态能级峰. 仍采用上述方法确定芯态能级峰的峰位. Pb 5d 芯态能级峰发生了分裂, 出现了两组峰结构, 这给能谱中峰的指认带来了困难. 当 ZnO 溅射到 PbTe 层上时, ZnO 中的 O 原子与 PbTe 表面的 Pb 原子形成化学键, 因此, 光电子能谱中的 Pb 5d 芯态能级峰包含了 Pb—Te 成键电子和 Pb—O 成键电子两部分的信号. 为了指认 Pb—Te 成键电子的峰位信息, 我们对 ZnO/PbTe 异质结构进行了变 ZnO 厚度的扫描. 通过测量 ZnO 层厚度不同的 ZnO/PbTe 异质结构的 SRPES (图 4 (b)) 来获得界面不同位置处电子态信息. 从图 4 (b) 可以看出, 随着 ZnO 层的逐渐变薄, 低能端 Pb 5d_{5/2} 峰的强度先增大再减小, 而高能端的 Pb 5d_{5/2} 峰的强度则始终增大. 这说明低能端 Pb 5d_{5/2} 峰的信号来自界面附近, 是 Pb—O 成键电子的信号, 而高能端 Pb 5d_{5/2} 峰的信号则来自 PbTe 体材料, 是 Pb—Te 键电子的信号. 相同的结构在 ZnO/PbSe 异质结中也被观察到. 同时我们还发现, 随着 ZnO 层厚度的减小, PbTe 的芯态能级峰峰位没有发生明显的移动, 说明在 ZnO/PbTe 界面以及 ZnO 层中不存在明显的极化电场和空间电场. 这是因为磁控溅射生长的 ZnO 是多晶结构, 没有单一的极化方向, 所以在界面不会形成极化电场. 同时, 由于 PbTe 具有很大的相对静介电常数 ϵ_0 ($\epsilon_0 = 400$), 因此异质结界面附近空间电荷分布主要是在 PbTe 层中产生电势. 界面处电场对光电子能谱的影响可以忽略不计. 综上可知, 我们得到了 ZnO/PbTe 异质结中 Pb 5d_{5/2} 芯态能级与 Zn 3d 芯态能级的能量差 $\Delta E_{CL} = (8.13 \pm 0.02)$ eV.

将上述测量数据代入 (1) 式, 得到 ZnO/PbTe 异质结的价带带阶为 (2.56 ± 0.12) eV. 根据图 1, 导带带阶可以利用 $\Delta E_c = E_{g,ZnO} - E_{g,PbTe} - \Delta E_v$ 计算得到, 室温下 ZnO 的带隙 $E_{g,ZnO}$ 为 3.37 eV, PbTe 的带隙 $E_{g,PbTe}$ 为 0.32 eV, 则该异质结导带带阶为 (0.49 ± 0.12) eV. 因此, ZnO/PbTe 异质结具有类型 I 的能带排列. ZnO/PbTe 异质结中导带

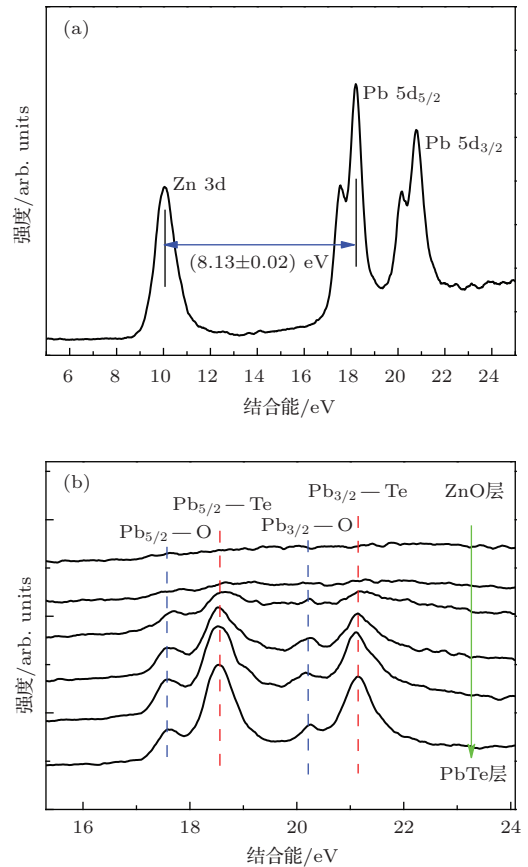


图 4 ZnO/PbTe 异质结样品的 SRPES 以及 ZnO 层厚度不同时 Pb 5d 芯态能级的 SRPES (a) ZnO/PbTe 异质结样品的 SRPES; (b) 改变 ZnO 层厚度测量得到的 Pb 5d 芯态能级的 SRPES

带阶远小于价带带阶, 表明 PbTe 中激发的电子能够较容易地从导带输运到 ZnO 层, 最后导出到外电极中, 因此该结构在新型太阳能电池和中红外探测器的制备方面有重要的应用价值. 文献 [19] 研究了 PbSe 多晶薄膜和 *c* 轴取向的蓝宝石衬底上外延生长的 ZnO 薄膜的异质结能带结构, 测量得到的价带带阶为 2.51 eV. 文献 [20] 研究了 PbSe(111) 单晶薄膜与 ZnO 多晶薄膜组成的异质结结构的能带带阶, 该异质结的价带带阶为 2.36 eV. 同一类结构测量结果的差异说明异质结的能带结构与组成异质结材料的性质 (如晶体质量、界面态、界面极化效应等) 有很大关系. 本文研究的 ZnO/PbTe(111) 异质结中, PbTe(111) 薄膜是 MBE 生长的单晶薄膜, 而 ZnO 则是磁控溅射生长的多晶薄膜. PbTe 和 PbSe 都属于 IV-VI 族材料体系, 具有相近的晶格常数、能带带隙等参数, 因此 ZnO/PbTe 异质结的能带结构与 ZnO/PbSe 异质结的能带结构相近, 该类材料体系都具有类型 I 的能带排列, 且导带带阶小于价带带阶, 有利于电子从 PbTe 或 PbSe 输运到 ZnO 层中.

4 结 论

本文利用SRPES技术测量了ZnO/PbTe异质结界面电子能带排列情况. ZnO/PbTe异质结具有类型I的能带排列结构, 其中价带带阶为 (2.56 ± 0.12) eV, 导带带阶为 (0.49 ± 0.12) eV. 利用变ZnO厚度扫描的方法, 我们发现在ZnO/PbTe界面形成了两种化学键, 分别是Pb—O键(低结合能)和Pb—Te键(高结合能), 同时ZnO层以及ZnO/PbTe界面附近没有明显的极化电场和空间电场分布. 这说明ZnO层的能带是平带结构. ZnO/PbTe异质结中导带带阶较小, 而价带带阶较大, 这一能带排列类型有利于PbTe中激发的电子从导带输运到ZnO层中. 该类结构在制备新型太阳能电池、中红外探测器、激光器等器件中会有重要的应用.

参考文献

- [1] Levin E M, Heremans J P, Kanatzidis M G, Schmidt-Rohr K 2013 *Phys. Rev. B* **88** 115211
- [2] Wu H F, Zhang H J, Liao Q, Lu Y H, Si J X, Li H Y, Bao S N, Wu H Z, He P M 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1310 (in Chinese) [吴海飞, 张寒洁, 廖清, 陆赟豪, 斯剑霄, 李海洋, 鲍世宁, 吴惠楨, 何丕模 2009 物理学报 **58** 1310]
- [3] Xu T N, Wu H Z, Sui C H 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7865 (in Chinese) [徐天宁, 吴惠楨, 隋成华 2008 物理学报 **57** 7865]
- [4] Jin S Q, Cai C F, Bi G, Zhang B P, Wu H Z, Zhang Y 2013 *Phys. Rev. B* **87** 235315
- [5] Ishida A, Sugiyama Y, Isaji Y, Kodama K, Takano Y, Sakata H, Rahim M, Khair A, Fill M, Felder F, Zogg H 2011 *Appl. Phys. Lett.* **99** 121109
- [6] Lin Z H, Wang M Q, Zhang L Y, Xue Y H, Yao X, Cheng H W, Bai J T 2012 *J. Mater. Chem.* **22** 9082
- [7] Wei X D, Cai C F, Zhang B P, Hu L, Wu H Z, Zhang Y G, Feng J W, Lin J M, Lin C, Fang W Z, Dai N 2011 *J. Infrared Millim. Waves* **30** 293 (in Chinese) [魏晓东, 蔡春锋, 张兵坡, 胡炼, 吴惠楨, 张永刚, 冯靖文, 林加木, 林春, 方维政, 戴宁 2011 红外与毫米波学报 **30** 293]
- [8] Kolwas K A, Grabecki G, Trushkin S, Wrobel J, Aleszkiewicz M, Cywinski L, Dietl T, Springholz G, Bauer G 2013 *Phys. Status Solidi B* **250** 37
- [9] Fu H Y, Tsang S W 2012 *Nanoscale* **4** 2187
- [10] Cai C F, Wu H Z, Si J X, Sun Y, Dai N 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3560 (in Chinese) [蔡春锋, 吴惠楨, 斯剑霄, 孙艳, 戴宁 2009 物理学报 **58** 3560]
- [11] Rahim M, Khair A, Felder F, Fill M, Zogg H, Sigrist M W 2010 *Appl. Phys. B* **100** 261
- [12] Hou Q Y, Liu Q L, Zhao C W, Zhao E J 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 057101 (in Chinese) [侯清玉, 刘全龙, 赵春旺, 赵二俊 2014 物理学报 **63** 057101]
- [13] Cho Y S, Kang J W, Kim B H, Park S J 2013 *Opt. Express* **21** 31560
- [14] Santos J D, Fernandez S, Carabe J, Gandia J J 2014 *Thin Solid Films* **551** 207
- [15] He J F, Zheng S K, Zhou P L, Shi R Q, Yan X B 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 046301 (in Chinese) [何静芳, 郑树凯, 周鹏力, 史茹倩, 闫小兵 2014 物理学报 **63** 046301]
- [16] Zhitomirsky D, Furukawa M, Tang J, Stadler P, Hoogland S, Voznyy O, Liu H, Sargent E H 2012 *Adv. Mater.* **24** 6181
- [17] Choi J J, Lim Y F, Santiago-Berrios M B, Oh M, Hyun B R, Sun L F, Bartnik A C, Goedhart A, Malliaras G G, Abruña H D, Wise F W, Hanrath T 2009 *Nano Lett.* **9** 3749
- [18] Timp B A, Zhu X Y 2010 *Surface Sci.* **604** 1335
- [19] Li L, Qiu J J, Weng B B, Yuan Z J, Li X M, Gan X Y, Sellers I R, Shi Z S 2012 *Appl. Phys. Lett.* **101** 261601
- [20] Cai C F, Zhang B P, Li R F, Wu H Z, Xu T N, Zhang W H, Zhu J F 2012 *Europhys. Lett.* **99** 37010
- [21] Zou C, Sun B, Zhang W, Wang G, Xu P, Wang P Q, Xu F, Pan H 2005 *Nucl. Instrum. Meth. A* **548** 574
- [22] Kraut E A, Grant R W, Waldrop J R, Kowalczyk S P 1980 *Phys. Rev. Lett.* **44** 1620
- [23] Cai C F, Wu H Z, Si J X, Jin S Q, Zhang W H, Xu Y, Zhu J F 2010 *Chin. Phys. B* **19** 077301
- [24] Cai C F, Wu H Z, Si J X, Zhang W H, Xu Y, Zhu J F 2010 *Appl. Surf. Sci.* **256** 6057
- [25] Si J X, Jin S Q, Zhang H J, Zhu P, Qiu D J, Wu H Z 2008 *Appl. Phys. Lett.* **93** 202101
- [26] McFeely F R, Kowalczyk S, Ley L, Pollak R A, Shirley D A 1973 *Phys. Rev. B* **7** 5228
- [27] Chen Q, Yang M, Feng Y P, Chai J W, Zhang Z, Pan J S, Wang S J 2009 *Appl. Phys. Lett.* **95** 162104

Band offsets of ZnO/PbTe heterostructure determined by synchrotron radiation photoelectron spectroscopy*

Cai Chun-Feng^{1)2)†} Zhang Bing-Po²⁾ Li Rui-Feng²⁾ Xu Tian-Ning³⁾ Bi Gang¹⁾
Wu Hui-Zhen²⁾ Zhang Wen-Hua⁴⁾ Zhu Jun-Fa⁴⁾

1) (School of Information and Electrical Engineering, Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China)

2) (Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

3) (Department of Science, Zhejiang College of Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310024, China)

4) (National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

(Received 11 March 2014; revised manuscript received 15 April 2014)

Abstract

Accurate determination of the band offsets of a heterostructure is essential to its study and application. In this paper, we use synchrotron radiation photoelectron spectroscopy to determine the band offset of ZnO/PbTe heterostructure. The valence band offset is 2.56 eV, and the conduction band offset is 0.49 eV, which indicates that the heterostructure has a type-I band alignment. By performing the depth scanning measurement, we find there are two bonding structures at the interface of ZnO/PbTe heterostructure, corresponding to Pb–O bonding (low energy side) and Pb–Te bonding (high energy side). At the interface of ZnO/PbTe heterostructure, the conduction band offset is much smaller than the valence band offset which is conducive to the transportation of excited electrons in PbTe source layer to ZnO electrode. Due to the unique band structure the ZnO/PbTe heterostructure has potential applications in the fabrication of high efficiency solar cells, mid infrared detectors and lasers.

Keywords: band offset, synchrotron radiation photoelectron spectroscopy, ZnO/PbTe heterostructure

PACS: 73.20.At, 79.60.–i, 73.40.Lq

DOI: 10.7498/aps.63.167301

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61275108, 11374259).

† Corresponding author. E-mail: caicf@zucc.edu.cn