

透射式GaAs光电阴极材料的 MOCVD生长

高鸿楷 张济康 云 峰
龚 平 王海滨 侯 洵

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 710068)

摘 要 用常压MOCVD装置, 制备了透射式GaAs光电阴极材料。发射层P-型GaAs掺杂浓度到 $10^{18}-10^{19}\text{cm}^{-3}$, 少子扩散长度到 $4.02\mu\text{m}$ 。AlGaAs层的Al组分含量到0.83, 其吸收光谱长波限与设计值基本符合。利用此材料进行了阴极激活实验, 制成了透射式GaAs光阴极。

关键词 MOCVD; GaAs; 光电阴极材料

0 引 言

激活的GaAs阴极属于负电子亲合势(NEA)光阴极, 较之正电子亲合势光电阴极有许多优点, 国外已于80年代制成带有这种阴极的微光夜视仪, 投入工业化生产并装备了部队¹。该夜视仪的关键部件之一就是GaAs等Ⅲ-V族负电子亲和势光阴极。光阴极GaAs材料的制备有几种方法: 液相外延(LPE), 气相外延(VPE), 分子束外延(MBE)和MOCVD(金属有机物化学气相淀积)。液相外延的外延层电子迁移率高, 电性能好, 易获得较高的量子效率, 但表面质量难以平整。气相外延的外延层表面光亮平滑, 易获得高传递函数的器件, 但它不易生长大面积, 可控性不好, 不能生长多层结构。分子束外延的外延层均匀, 质量好, 组分单独可控, 有俄歇谱仪随机监测, 但它的生长速度慢, 设备昂贵使用受到限制。MOCVD技术兼顾了液相和气相两种技术的特点, 同时也具备有MBE的某些特性, 如生长多层结构, 大面积平整光亮, 组分单独可控, 高性能低成本, 可批量生产等, 所以是最适合于用来制备光阴极材料的技术。

我国从70年代初就开始进行负电子亲和势光阴极的研究, 作出了反射式GaAs阴极光电倍增管²。但对透射式GaAs的研究, 由于受到外延设备的限制(当时无有MOCVD装置), 进展很慢。80年代末期有了MOCVD装置, 使得透射式GaAs阴极的研究得到发展, 本文对文献³加以补充, 介绍透射式GaAs阴极材料的MOCVD生长及相关参数的测试。

1 透射式GaAs阴极的结构和对材料的要求

透射式GaAs阴极的结构有两种。一种是两层如图1a所示, 即 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}/\text{GaAs}$ (衬底), 是在GaAs衬底上先生长GaAs, 然后再生长一层 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, 在 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

收稿日期: 1991-04-19

国家自然科学基金资助项目

上沉积 Si_3N_4 后粘接于玻璃上,用腐蚀和精细加工办法去除衬底GaAs,这种结构生长起来简单,但加工困难,没有达到实用化。另一种结构,就是现在商品的结构,它由三层外延层组成,如图1b)所示,就是 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ /GaAs/ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ /GaAs(衬底),将最后生长的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层沉积上 Si_3N_4 后粘接到玻璃上,再用选择

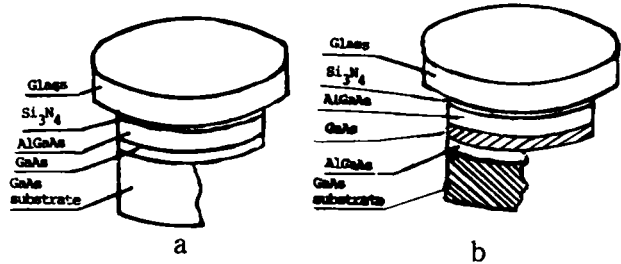


图 1 GaAs 光阴极结构示意图

Fig. 1 Structure of the GaAs Photocathode

腐蚀的方法,将衬底GaAs和第一层 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 去除即成。

透射式GaAs光阴极对材料的要求主要有以下几点:

- 1) 表面光亮平整
- 2) 厚度要均匀, $\Delta L < 0.3\mu\text{m}$ 。
- 3) 面积大 $\geq \phi 18 - \phi 25\text{mm}$ 。
- 4) 薄层微结构GaAs $2\mu\text{m}$, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ $1.5 - 3\mu\text{m}$ Si_3N_4 $1000\text{\AA}$
- 5) GaAs发射层的少子扩散长度 $3 - 5\mu\text{m}$,
- 6) 窗口材料的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中 x 值要大,这样能使得透过光谱范围宽。
- 7) 重掺杂P型, $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3} - 1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$

2 材料生长

以常压卧式MOCVO装置制备此GaAs阴极⁴。其AlGaAs/GaAs/AlGaAs/GaAs多层结构材料的具体生长工艺已有另文报导³,这里不再赘述。

3 测试与结果

用霍尔—范德保法测量掺杂浓度,用电子探针、电调制谱和x射线双晶衍射仪测量Al组分 x 值,用扫描电镜测量外延层厚度,用表面光伏法测量少子扩散长度,用UV—365型分光光度计测量AlGaAs层的光谱透过波段,用俄歇能谱仪进行表面元素分析。

测得外延层掺杂浓度为P型 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3} - 2 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ AlGaAs,外延层 x 值0.4—0.83,光谱透过波段如图2所示。

x 值是0.54的AlGaAs层,光谱透过波段从 $5800\text{\AA}$ 开始, x 值0.58的光谱透过波段从 $5300\text{\AA}$ 开始,这与理论计算值是符合的。 $10\mu\text{m}$ 厚AlGaAs层的透过率为67%, $3\mu\text{m}$ AlGaAs的为77%。

GaAs外延层的少子扩散长度达到 $4.02\mu\text{m}$,厚度 $1 - 2\mu\text{m}$ 。过渡层AlGaAs厚度

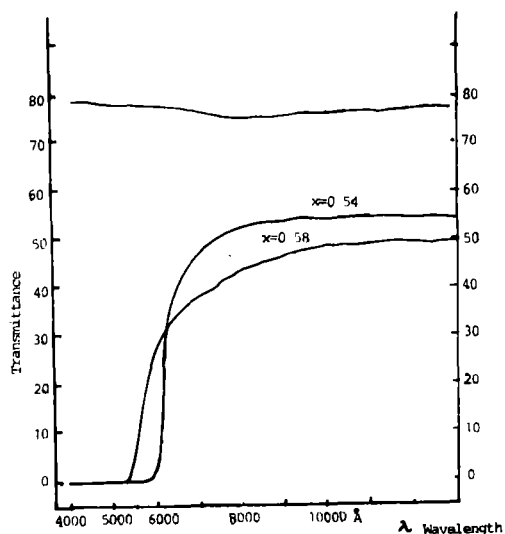


图 2 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 外延层不同 x 值的光谱透过曲线

Fig. 2 Spectral transmittance for $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ epilayers having different x values.

3—4 μm , x 值常用 0.5—0.6。阴极结构多层外延片的断面图见文献 3, 该片三层结构的各界面是清晰、平直、厚度均匀的。经 x 射线双晶衍射测试, 其回摆曲线对称性良好、光滑、尖锐³, 说明外延层 GaAs 和 AlGaAs 都是晶格完整的, AlGaAs 中 x 值稳定, 没有不同 x 值的 AlGaAs 峰。GaAs 和 AlGaAs 外延层间的晶格匹配良好, AlGaAs/GaAs 的 $\Delta a/a = 1.6 \times 10^{-3}$ 。阴极结构外延片进行腐蚀后, 各层台阶清楚, 表面平整, 第一层为 AlGaAs 第二层为 GaAs, 第三层为 AlGaAs, 第四层为 GaAs 衬底, 如图 3, 俄歇分析结果说明各层组分均正确, 且界面处不留有过渡层, 外延层中测不出 C, O_2 杂质污染, 情况如图 3 所示。

阴极结构外延片, 粘接于玻璃光窗上后, 经选择腐蚀, 蒸镀电极送入超高真空室, 经 Cs, O_2 激活, 得到透射式阴极灵敏度为 $117 \mu\text{A}/\text{lm}$, 这里没有扣除阴极片 50 % 的光能损失。

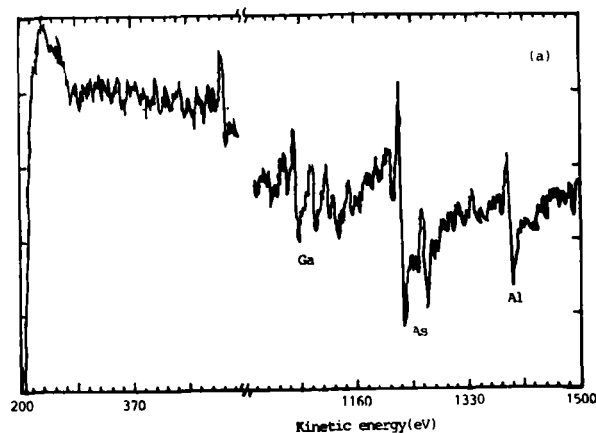


图 3 a

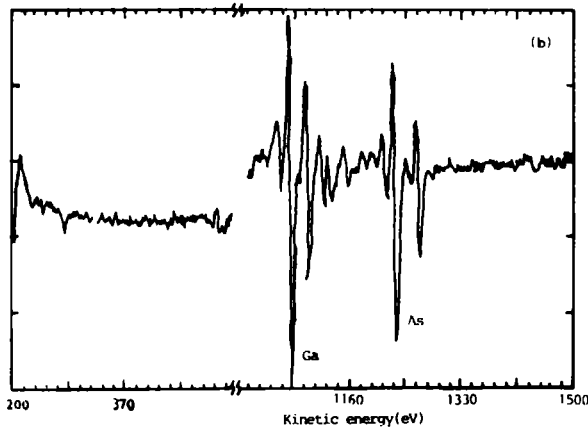
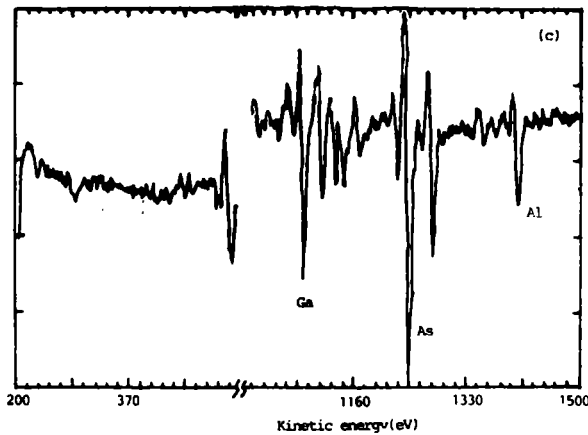


图 3 阴极结构外延片经选择腐蚀后各层的俄歇能谱分析图,

- a) 外延层第三层AlGaAs
- b) 中间层GaAs
- c) 外延第一层AlGaAs

Fig. 3 Auger energy spectrum figure of epilayers after the photocathode structure epilayers have been etched selectively.

- a) third epilayers AlGaAs;
- b) middle layer;
- c) first epilayer AlGaAs.



这里灵敏度还不高,尚有多种原因,其一是激活室的真空度还不能达到作负电子亲和势时的真空度要求;其二是激活过程中,缺少GaAs外延片表面清洁情况好坏的检测设备(俄歇能谱仪或高能电子衍射仪),这样就无法得知GaAs片表面是否达到了原子清洁⁵,而GaAs表面能否达到原子清洁是NEA阴极能否制成的至关重要的因素。

参考文献

- 1 International Defence Review, 1980,13(9): 1465—1466
- 2 侯洵,张焕文等. 全国第一届光电器件会议, 1983年10月南京
- 3 高鸿楷,云峰,张济康等. 高速摄影与光子学, 1991, 20(2): 151—158
- 4 高鸿楷,张济康,叶亚仙等. 高速摄影与光子学, 1990, 19(4): 360—365
- 5 Philuips C C, Hughes A E, Sibbett W. *J Phys D* 1984, 17: 1713

MOCVD GROWTH OF TRANSMISSION MODE NEA GaAs PHOTOCATHODE MATERIAL

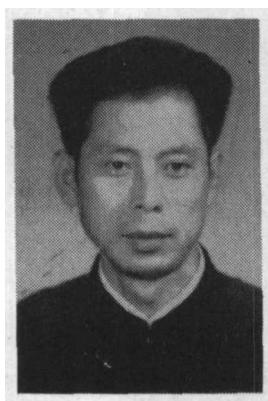
Gao Hongkai, Zhang Jikang, Yun Feng,
Gong Ping, Wang Haibin and Hou Xun

*Xian Institute of Optics and Precision Mechanics
Academia Sinica, Xian 710068*

(Received date: 1991-04-19)

Abstract A transmission mode GaAs photocathode material has been grown by an CVD system. The doping concentration and the minority carrier diffusion length of P-GaAs emission layer are $10^{18} - 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and $4.02 \mu\text{m}$, respectively. The Al content of AlGaAs is up to 0.83. The long wave limit of its absorption band coincides with design demands essentially. The activation experiments of the material have been carried out and finally the transmission mode NEA GaAs photocathode has been developed.

Keywords MOCVD; GaAs; Photocathode



Gao Hongkai was born on Oct. 24, 1940 in Liaoning, China. He graduated from the Department of Chemistry, Jilin University, Changchun, China, in 1965. Then he joined Xian Institute of Optics and Precision Mechanics, Academia Sinica. Mr. Gao is a associate professor in the XIOPM. From 1965 to 1972, he researched crystal growth. From 1973 to 1979, he worked on growth of III-V compound semiconductor materials such as GaP, GaAs. From 1980 to 1984, he researched on ZnS luminescent material. He has studied on MOCVD, since 1985. His current research interests include characterization and MOCVD growth of GaAs/AlGaAs materials and related heterojunction devices and MOCVD system apparatus. Mr. Gao is a member of China Society of Chemistry and a member of Chinese Society of Luminescence.