

文章编号: 1002-2082(2004)05-0030-03

三代微光像增强器制管工艺对阴极光电发射性能的影响

徐江涛

(西安应用光学研究所, 陕西 西安 710100)

摘要: 主要论述制管工艺对光电阴极发射性能的影响。通过分析仪器和光学检测方法对管子阴极制备的台内及台外工艺质量进行了在线追踪和监测, 结果表明, 影响台外工艺质量的主要因素是外延材料缺陷多、发射层表面氧化、杂质污染、掺杂浓度不均匀、掺杂浓度陡度变化小及 GaAs 与玻璃粘接产生的应力大; 影响台内工艺质量的主要因素为阴极激活真空度低于 8×10^{-8} Pa, 真空残气 H_2O, CO, CO_2 及 C 分压大于 10^{-8} Pa, 阴极激活铯和氧源提纯不彻底。利用透反射光照法激活台内对组件表面测线, 发现发射层表面针孔、裂纹和发雾是造成阴极发射性能低的关键因素。

关键词: 微光像增强器; 阴极光电发射; 激活灵敏度; GaAs; 在线检测

中图分类号: TN223; TN144-34

文献标识码: A

Effect of Tube Making Technique for Generation III Low-light-level Image Intensifier on Photoemissive Property of photocathode

XU Jiang-tao

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710100, China)

Abstract: The effect of the tube making Technique on the photoemissive property of the photocathode is described. The technical quality of the cathode assembly preparation and the cathode activation is detected on line with the analytical instruments and the method of optical detection. The result shows that the main factors, which affect the technical quality of the cathode assembly preparation, are surface oxidization of emissive layer, impurity pollution, doped concentration nonuniform, less variation of doped concentration gradient, the sticking stress of GaAs and glass, and the main factors, which affect the cathode activation, are the degree of vacuum for activation at lower than 8×10^{-8} Pa, the partial pressure of H_2O, CO, CO_2 and C in the vacuum residual gas at higher than 10^{-8} Pa and the improper caesium and oxygen refining. With a method of the transmission-reflection luminance, we also found that the pinholes, cracks and atomization on the surface of the emissive layer are the key factors that might cause the lower emissive property of the photocathode.

Keywords: low-light-level image intensifier; photoemissive property of cathode; activating sensitivity; GaAs; on-line detection

引言

在三代微光像增强器研制中, 光电阴极激活常出现灵敏度低, 铯-氧交替无光电流, 管内阴极灵敏度下降快, 视场有暗斑等现象, 严重影响了器件研发, 这是由于缺乏有效的质量监测手段缘故所致。为寻求根源, 以阴极组件制备(台外工艺)和阴极激

活工艺之间的影响作为突破口。用分析仪器和光学表面检测为主要手段, 对阴极组件 GaAs 材料、发射层表面和激活工艺质量进行科学检测分析; 发现外延材料质量差, 生长层表面污染、氧化及掺杂浓度界面不清晰和浓度不均匀等使制备的阴极组件发射层出现表面发雾、针孔多及晶面质谱分析发

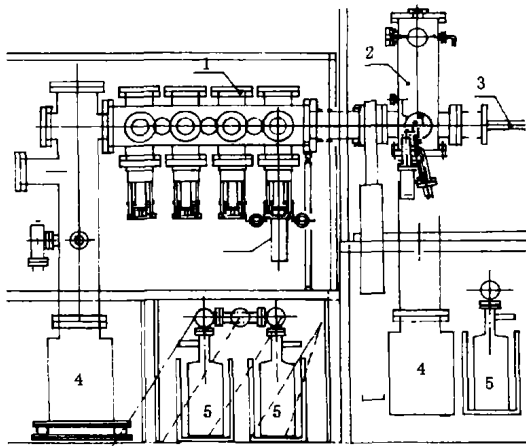
收稿日期: 2003-10-20 修回日期: 2003-12-25

作者简介: 徐江涛(1955-), 男, 陕西丹凤人, 西安应用光学研究所高级工程师, 主要从事微光技术研究工作。

现,激活炸裂。系统内有害残气 H_2O , CO , CO_2 , C 和 C_xH_y 分压过高,以及铯-氧源受污染等均是造成阴极灵敏度低的重要原因。本文对台外和台内工艺质量方面开展的研究以及分析结果作以报导。

1 实验装置与方法

研究三代微光管所用的设备为超高真空无油设备,装置如图1所示。该系统真空度极限优于 8×10^{-9} Pa,它具有样品传递、阴极组件高温加热、管子压封及微通道板(MCP)电子清洗等功能。系统配有英国VG386微机处理的四极分析器,随时可以对阴极激活过程进行分析,也可实现真空系统检漏,设备性能好且功能齐全。



1—压封室;2—激活室;3—传递杆;4—离子泵;5—吸附泵
图1 三代管超高真空制管设备

Fig. 1 Ultrahigh vacuum tube-made equipment for the third generation LLL image intensifier

对经化学腐蚀到位的GaAs阴极组件,进入阴极制管台前需进行组件表面光学测试,符合全部要求后方可进台,这道工序称为台外工艺。阴极激活前先用透射光和反射光分别监测组件的体质量和表面质量,无问题则进行组件热清洗,清洗完成后进行铯和氧激活,随后监视原位GaAs光电发射稳定性并记录全部工艺过程,为以后质量分析提供依据。

2 结果分析

三代微光像增强器的研制工艺主要有两大部分:一是阴极组件制备工艺;二是阴极激活工艺。前

道为台外工艺,后道为台内工艺,它们均属三代微光像增强器研制中的关键工序。

2.1 GaAs 阴极组件台外工艺质量

三代微光像增强器GaAs阴极组件制备工艺主要有3道工序:首先是GaAs外延材料生长;其次是外延片与玻璃粘接;最后是GaAs外延层腐蚀。用电化CV仪测得GaAs外延片材料的体特性,其结果如图2所示。它主要反映GaAs外延生长时掺杂浓度和各层间的厚度关系。图2(a)为材料体特性

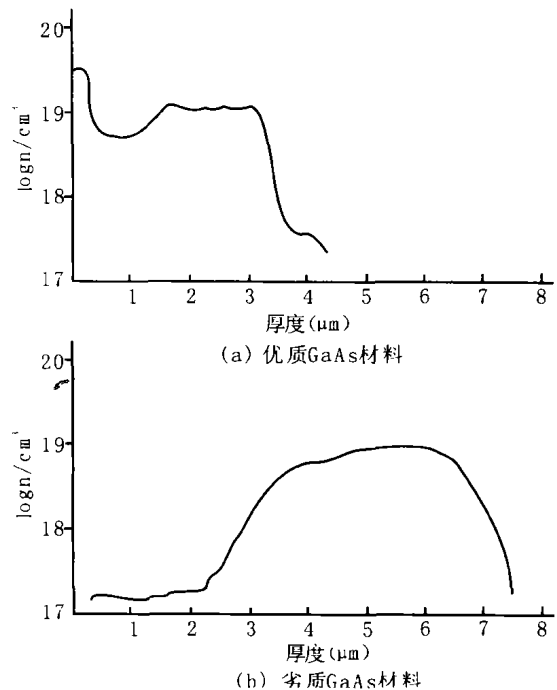


图2 电化CV曲线

Fig. 2 Electrochemical CV curve

合格的CV曲线;图2(b)为其不合格的CV曲线。由图可以看出,外延工艺过程正常时,生长材料各层间层次分明,界面陡度大且过渡层窄;外延生长工艺有问题时,生长的材料过渡层宽,缓冲层掺杂浓度低,发射层掺杂不稳定。真空设备卫生条件恶劣时,外延层可能混有主掺杂材料以外的有害杂质,表现在组件质量上是阴极发射层存在严重针孔缺陷。如果外延工艺条件不符合要求,外延时会造成材料氧化,易使发射层面出现白雾和花纹斑,这些都是造成阴极无发射电流和阴极激活灵敏度低的主要原因。因此,制备高灵敏度阴极时,优良的GaAs外延材料性能是实现激活高灵敏度阴极的先决条件。图3为GaAs材料质量引起的阴极组件表面质量图像(图3(a)为阴极针孔多,图3(b)为

GaAs 外延层有裂纹,图 3(c)为阴极表面严重氧化,图3(d)为材料无缺陷表面质量合格的阴极组件图)。如图可看出,严格检测阴极表面质量可有效地提高制管效率。需特别注意的是,外延片和玻璃粘接后使 GaAs 阴极发射层产生的内应力是影响阴极激活灵敏度的最主要因素。尽管可以用荧光扫描仪测量 GaAs 与玻璃粘接后的光强度,但很难得出荧光强度与阴极激活灵敏度之间相对应的准确关系。因为制成的三代微光像增强器管内阴极灵敏度的好坏与管子的全部工艺质量均有关,而并非由哪一道工序决定。近十年的制管经验表明,台外组件质量的控制重点是阴极体特性。因此,应加强工艺质量对阴极组件体特性的影响研究,以制备优良三代 GaAs 阴极组件,从而保证研制出高灵敏度三代像增强器。

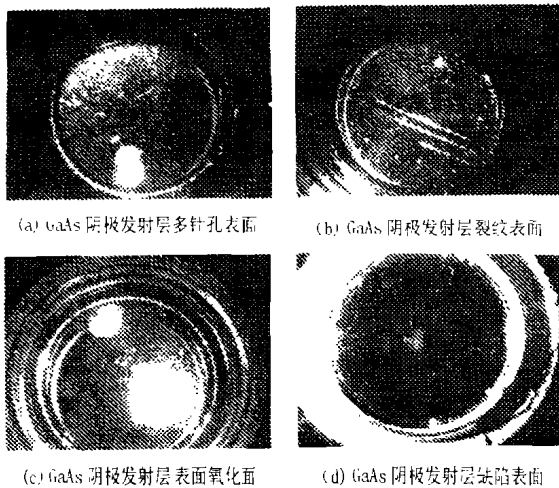


图 3 GaAs 阴极发射层不同表面质量图

Fig. 3 Surface quality of different GaAs cathode emissive layers

2.2 台内工艺质量

三代 GaAs 负电子亲合势光电阴极制备台内工序主要有:真空排气、阴极组件高温热清洗、铯-氧源除气净化提纯、铯-氧交替激活。它们都是能否制备高性能阴极灵敏度的重要因素。经烘烤后系统的真空度通常可达到 2×10^{-8} Pa。质谱分析发现,主要残气是 CO, CO₂ 和 H₂ 气体;钛升华泵加入液氮后,残气主要为 H₂ 和 Ar,此时系统非常清洁。对送入激活台的阴极组件热清洗全过程释放的残气进行质谱分析监测,发现受污染的组件热清洗时放出 C_xY_y 化合物,而且阴极激活灵敏度不高,残气量

大,烘烤时间比无污染组件的时间长。在系统内用反射光和透射光分别对组件发射层表面及内部进行光照检测,可准确确定表面有无污染或点缺陷。阴极发射层表面有氧化层及花纹等缺陷时,易使激活无光电响应,形成发射死区。点缺陷易使做成的管子在有效视场观察区内出现黑斑,从而影响管子分辨率和图像质量。对于激活用的铯-氧源材料,如果除气不彻底或受污染,则通电加热过程中释放出的有害气体会对 GaAs 阴极发射面基底造成污染。主要表现在给铯时间长、光电响应慢及激活灵敏度低 3 个方面。对于铯-氧激活,关键是要能保证到达 GaAs 发射层面的铯-氧原子结合比最佳。实现最佳铯-氧原子比的条件就是严格控制它们的蒸发量和铯-氧量,交替 6~7 次就可使阴极灵敏度达到最大值。激活结束后,只要 GaAs 阴极原位监测光电流不随时间延长而下降,则说明激活工艺正常,即台内工艺正常。试验证明,阴极灵敏度最高时氧原子层为 1 郎米尔。

在三代微光像增强器研制中, GaAs 阴极外延材料主要是从国外进口的。从大量的激活结果可以看出国外材料比国内的质量要好得多。主要表现为国外材料外延工艺稳定,材料掺杂浓度高,针孔小,无体缺陷,而国内材料因处于初期研究阶段,外延材料质量差且材料的晶体缺陷严重。表 1 为国内外厂家提供的外延阴极激活结果。

表 1 国内外 GaAs 外延材料激活结果

Table 1 Activating results of GaAs epitaxial material made in china and other countries

灵敏度 名称	英国	俄罗斯	山东 大学	西安光机所
典型值	1400 $\mu\text{A}/\text{lm}$	1600 $\mu\text{A}/\text{lm}$	800 $\mu\text{A}/\text{lm}$	500 $\mu\text{A}/\text{lm}$
时 间	1995 年	1998 年	1995 年	1994 年

从对三代管研制中可看出,要使国产 GaAs 材料质量赶上国外水平,必须重视和加强 GaAs 外延生长工艺的研究。

3 结论

通过对三代微光像增强器制管的综合研制,得出以下结论:

(下转第 46 页)

变谐振波长的。

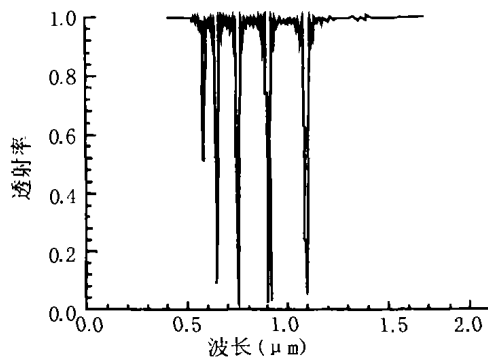


图5 纤芯折射率为1.454的长周期光纤光栅透射谱

Fig. 5 Transmission spectrum of long-period gratings with core refractive index at 1.45 μm

3 结论

理论上分析了镀有LB膜的长周期光纤光栅的谐振波长特性,这对制作长周期光纤光栅生化传感器有很重要的意义。目前LPG化学传感器所能检测的仅限于折射率低于包层折射率的物质,用LB膜的方法大大拓宽了检测范围。随着LB膜技术的

不断成熟,人们已经发现生物蛋白和酶等化合物也可以形成单分子膜,这给LPG作为免疫传感器提供了极大的方便。利用膜厚达到一定时谐振波长发生突变的特性,可以制作出高灵敏度的长周期光纤光栅传感器。

参考文献:

- [1] Nicholas D Ress, Stephen W James, Ralph PT. Optical fiber long-period gratings with langmuir-Blodgett thin-film overlays [J]. Opt Lett, 2002, 27 (9):686-688.
- [2] B H Lee, Y Liu, S B Lee, S S Choi, J N Jang. Displacements of the resonant peaks of a long-period fiber grating induced by a change of ambient refractive index [J]. Opt Lett, 1997, 22(23):1769-1771.
- [3] H J Patrick, A D Kersey, F Bucholtz. Analysis of the response of long period fiber gratings to external Index of refraction [J]. J Lightwave Technol, 1998, (16):1606-1612.

(上接第32页)

(1) 由于三代微光像增强器使用的是负电子亲合势阴极,原子级洁净表面是制备阴极的重要先决条件,制管设备工作的真空度必须优于 2×10^{-8} Pa,抽气系统必须由全无油机组组成。

(2) 为了分清台外台内工艺对阴极发射性能的影响,首先运用P⁺衬底对激活工艺进行大量试验。在确定激活工艺稳定的基础上,改用阴极组件,分清激活工艺和阴极质量间的影响。阴极组件发射层表面出现氧化、白雾和大面积针孔是造成阴极灵敏度低的主要原因。阴极组件制作过程中出现污染,会造成阴极激活灵敏度不高和阴极发射不稳定。因此,确保制备无污染的优质GaAs阴极组件是制作高性能三代管的关键,激活技术是实现阴极具有强电子发射和高阴极灵敏度的核心工艺。激活真空度不高,真空残气会对GaAs表面和铯-氧原子晶格表面造成污染,从而很难获得高阴极灵敏度。

阴极组件热清洗不彻底以及GaAs表面清洁度达不到原子级,铯层生长困难,易使铯原子丢失,从而无法制成高灵敏度阴极。另外,必须对铯-氧源材料进行长时间除气,直到O₂, H₂O, CO和CO₂分压低于 10^{-10} Pa,才能保证铯-氧除气干净。总之,通过对台内和内外工艺质量分析,分清了制管工艺对阴极发射性能的影响,加强了质量检测,有利于加快三代微光像增强器的研制。

参考文献:

- [1] A H sommer. Photomissive Materials [M]. New York: Wiley, 1968.
- [2] 徐江涛. 质谱分析与检漏技术在成像器件研究中的应用 [J]. 真空科学与技术, 2002, 22(增刊): 64-66.
- [3] 李晓峰,等. 透射式GaAs光电阴极AlGaAs/GaAs外延层内应力的种类及其表征与测量 [J]. 光子学报, 2002, 31(1): 87-91.