

TE 光电阴极制作技术的研究

中国科学院西安光学精密机械研究所

半导体光电器件研究室 (西安 710068)

李相民 侯洵 程军 王存让

摘要 对 TE 光电阴极制作工艺中存在的肖特基结热退化现象以及为了实现 TE 阴极器件化,设计了超高真空激活系统和制作工艺流程,并采用 PECVD-Si₃N₄ 绝缘膜和多次蒸银方法彻底消除了热退化现象,从而实现在真空系统内场助电极的原位连接和阴极的激活,为实现 TE 光电阴极器件的分离打下基础。

关键词 肖特基结 TE 阴极 PECVD-Si₃N₄ 热退化 Ag 膜

1 引言

由于 NEA (Negative Affinity) 光电阴极的长波阈值被限制在 $1.1\mu\text{m}^{[1]}$, 为了突破这个极限, 1974 年 Bell 等人首先提出了转移电子 (Transferred Electron, TE) 阴极并在实验上实现了光电发射^[2]。之后, 伴随着液相外延 (LPE) 技术的不断成熟和带隙可调的 In-GaAsP 合金的应用, 在理论研究和制作工艺方面, TE 光电阴极迅速发展起来。具有双异质结的 Ag/p-InP/p-InGaAsP/InP 阴极被认为最具有应用前景, 它的红外吸收波长已展到 $2.0\mu\text{m}^{[3]}$ 。1981 年 Escher 等人利用双异质结阴极首次实现了 $0.9\sim 1.6\mu\text{m}$ 的光电成像, 并获得了 $20\sim 22\text{c/mm}$ 的空间分辨率^[4]。

尽管 TE 阴极在实研室内实现了光电成像, 但分析 TE 阴极的结构特征, 并与 NEA 阴极相比较, 要制作具有 TE 阴极的独立光电器件, 还存在许多困难, 其中在真空系统内一次完成场助电极的连接、激活和器件分离是最主要困难之一。如果不能实现场助电极的原位连接和激活, 而是打开真空系统, 就会引起 TE 阴极肖特基结热退化现象^[5]。这些工艺困难也是 TE 阴极至今不能实现器件分离的主要原因之

一。

针对这些问题我们设计了超高真空激活系统, 并提出应用 PECVD (Plasma Enhance Chemical Vapor Deposition) 技术生长的 Si₃N₄ 绝缘膜和多次蒸银方法解决了场助引线原位连接的困难。本文将对工艺中的困难、解决方法和实验结果作较详细的论述。

2 TE 阴极制作工艺中的困难

图 1 给出了 TE 光电阴极的制作工艺流程图。显然, 在蒸银制备肖特基结之后, 无法在真空系统外给肖特基结施加场助电极, 必须打开真空系统, 进行场助电极连接和其它激活前准备工作。这期间, 由于暴露于大气, 肖特基结银表面必然受到污染, 当装入真空系统后, 必须经过烘烤才能达到要求的超高真空度, 而且在激活前还要在 550°C 的温度下进行短时间的表面热清洁。真空系统的烘烤和表面热清洁会

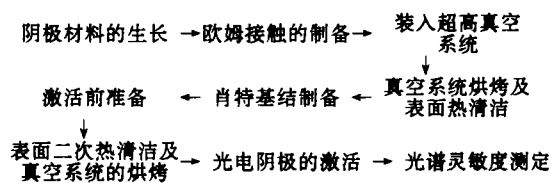


图1 TE 光电阴极制备工艺流程

半导体技术 1995 年 8 月第 4 期

造成肖特基结特性的严重劣化,甚至失去整流特性^[5],从而导致阴极失效。

可见,要想消除肖特基结热退化现象,只有在肖特基结制备之后,在不打开真空系统的前提下,完成场助电极的原位连接和其它各项激活前的准备工作,同时要求真空系统和新工艺能够和制备分立 TE 阴极器件的工艺相兼容,为制作独立的 TE 阴极光电器件做准备。综合上述考虑,我们设计了超高真空激活系统和新的工艺流程。

3 解决方法

我们利用 PECVD-Si₃N₄ 绝缘膜和多次蒸银工艺来解决上述问题,其基本思想是:阴极放入真空系统之前,把场助电极键合于阴极表面的非有源区,并通过绝缘膜与阴极隔离开来,在真空系统内通过第一次蒸银膜完成肖特基结制备后,再进行第二次蒸一层厚银膜,使场助电极与有源区桥连起来,从而实现在真空系统内场助电极的连接,为此,我们设计具有可移动掩模板的超高真空激活系统,如图 2 所示。下面对这个工艺流程作进一步说明。

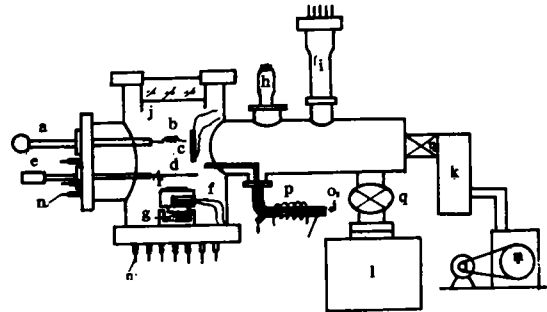


图 2 场助阴极超高真空激活系统

a 推杆; b 蒸银钨丝; c 铂离子源; d 挡板; e 螺旋游标; f 热电阻; g 热子; h 高真空规管; i 四极质谱仪; j 石英玻璃视窗; k 分子筛; l 溅射离子泵; m 机械泵; n 电极; o 银管; p 加热丝; q 高真空阀; r 阴极外延片

在外延片表面上的非有源区部分先生长一层 PECVD-Si₃N₄ 绝缘膜,厚度大约为 100nm。在 Si₃N₄ 膜上镀几个直径为 1~2mm,厚度大于 1μm 圆形金膜,作为场助电极的键合点(多镀

几个是为了键合时备用),然后,用超声键合工艺把场助电极与金膜连接起来,如图 3 所示。键合要求金膜要有足够的厚度,而且与 Si₃N₄ 膜的粘附要牢固,否则键合不牢或键合不上,因此,淀积金膜之前, Si₃N₄ 膜表面要经过严格清洗。 Si₃N₄ 膜是作为金膜与外延片之间的隔离膜,至少应当具有大于 10V 的击穿电压,因此,它的膜厚通常应大于 100nm。当完成上述工艺后,把阴极放入真空系统,阴极要经过长时间 270℃左右的热烘烤和大约 550℃的短时间表面热清洁过程,因此要求 Si₃N₄ 膜/InP 界面要具有良好的耐热处理特性,实验表明 PECVD-Si₃N₄ 膜能够满足上述要求^[6]。此外,之所以选择 PECVD 技术制备的 Si₃N₄ 膜作为隔离膜,是因为 PECVD 的生长温度只有 300℃左右,在这样低的温度下,不会对外延片表面造成热损伤。

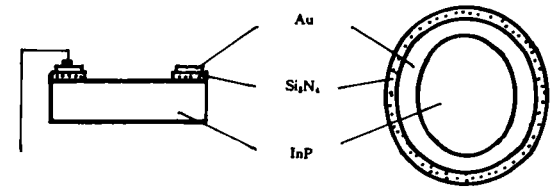
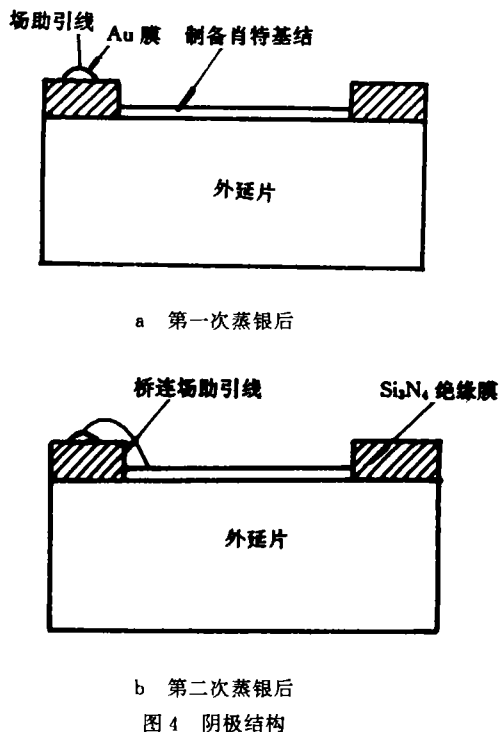


图 3 放入真空系统之前阴极结构示意图

外延片放入真空系统并经过热烘烤和表面热清洁之后便可进行蒸银制备肖特基结。TE 阴极要求银膜的厚度应小于 20nm,而 Si₃N₄ 膜的厚度通常大于 100nm,所以经过第一次蒸银后,场助电极并不能与阴极肖特基结实现连接,如图 4 (a) 所示。因此必须蒸一层厚度大于 100nm 的银膜,而这层银膜又不允许完全覆盖有源区,只要与有源区边缘交叠 0.5~1mm 即可。所以,在第二次蒸银时,必须掩盖大部分有源区,只暴露小于 1mm 的边缘,这可通过调节掩模板来实现。经过第二次蒸银后,场助电极与有源区肖特基结便可连接起来,如图 4 (b) 所示。由于场助电极的连接是在肖特基结制备后原位进行的,因而不必对表面进行第二次热清洁,从而彻底消除了肖特基结热退化现象。



4 实验结果和结论

在肖特基结制备过程中，我们在真空室外利用示波器对其特性进行了实时测量，图5(a)给出第一次蒸银后的测量结果，图中表明正反特性一致，击穿电压大于10V，说明此时测得的是Au/Si₃N₄/InP结构特性，场助电极与肖特基结还没有连接起来，进行第二次蒸银是必要的。图5(b)为第二次蒸银后的肖特基结整流特性测量结果。显然，经过二次蒸银，我们获得了良好整流特性的肖特基结，空穴的势垒高度大于0.7eV，反向击穿电压大于10V，实验证明经过热烘烤和表面热清洁之后，PECVD-Si₃N₄膜仍具有良好的耐击穿特性。同时也说明二次蒸银技术能够实现场助电极在真空系统内的原位连接，并彻底解决了肖特基结热退化问题。

采用PECVD-Si₃N₄绝缘膜和多次蒸银技术还具有更重要的意义。如果在外延片放入真空系统之前，通过真空扩散焊接技术与双近贴象管的基座粘接起来（该实验我们已在实验室内完成），并在超高真空激活系统中安装转移银

封机构，那么，在激活完成后便可以立即进行冷压钢封，从而实现TE阴极器件的分离。可见这个工艺为最终实现TE阴极器件的实用化打下坚实的基础。

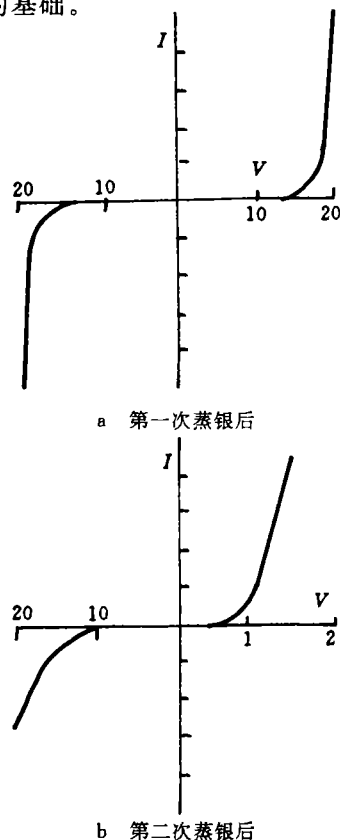


图5 Ag/p-InP肖特基结I-V特性

感谢西安电子科技大学微电子研究所杨银堂在制备PECVD-Si₃N₄膜时给予的大力帮助。

参考文献

- 1 Willardson R K, Beer A C. Semiconductors and Semimetals, 1981; 15: 246~257
- 2 Bell R L, James L N, Moon R L. Appl Phys Lett, 1974; 25 (11): 645~646
- 3 Escher J S, Bell R L, Grogrey P E et al. IEEE Transaction Electron Devices, 1980; 27 (7): 1244~1250
- 4 Escher J S, Grogrey P E, Hyder S B et al. IEEE Electron Device Letters, 1981; 2 (5): 123~125
- 5 李相民, 侯洵, 王存让, 程军, 张功力. 光子学报, 1994; 23 (3): 262~267
- 6 李相民, 王存让, 程军, 侯洵, 刘英. 光子学报, 1994; 23 (2): 139~144

(收稿日期 19950103)