

128 × 128 元硅场发射阵列 的氩离子束刻蚀制作

张新宇 易新建 赵兴荣 张 智 何 苗

(华中理工大学光电子工程系 武汉 430074)

摘要 利用光刻及氩离子束刻蚀制作面阵硅场发射器件,采用扫描电子显微镜和表面探针等分析所制样品的表面微结构形貌,定性讨论了刻蚀用氩离子束的能量及光致抗蚀剂掩模图形的厚度变化时所制成的面阵器件的形貌变化特点

PACC: 6855

1 引言

近年来,主要以使用冷阴极电子源为代表的真空微电子技术以其高频高速、抗辐射、耐高温、可微型化和集成化、功耗低等特点在显示器件方面得到了应用。为了进一步降低冷阴极的阈值电场,提高电流的发射密度和电子发射的稳定性,简化制备工艺,降低生产成本,提高器件的均匀性等,人们在寻找新的场发射体材料^[1-3]的同时也在不断改进冷阴极的结构和制作工艺。迄今为止,微尖端场发射阵列结构仍是实现高密度场发射的主要工艺手段之一。传统的尖端制备方法主要是采用化学腐蚀,利用硅及钼等材料在腐蚀性液体或气体中的各向同性或异性腐蚀特性进行^[4,5]。随着集成电路制作技术和硅材料加工工艺的深入的发展,在硅衬底上利用光刻及离子束刻蚀来制作高密度场发射器件具备了可靠的技术基础。采用光刻及离子束刻蚀制备硅微尖阵列,主要是利用离子束对硅及经光刻热熔法制出并被固化处理后的光致抗蚀剂掩模图形的刻蚀速率的差异所导致的抗蚀剂掩模图形转移到衬底上后发生变化的性质,得到具有所需几何形貌及空间分布的硅基场发射器件。该方法具有工艺参数可控,阵列规模可调,可用于制作器件的材料种类较多,制作器件的可重复性好,面阵器件的均匀性优良,环境污染小,制作成本低,较易实用化等特点。本文介绍了利用光刻及氩离子束刻蚀制备面阵硅基场发射阵列的技术

2 实验

2.1 硅场发射阵列的制备工艺

采用光刻热熔法及氩离子束刻蚀制备 128×128 元面阵硅场发射阵列器件, 主要工艺如图 1 所示(见图版 D), 具体工艺流程如下:

(1) 衬底材料的预处理: N 型(100)晶向, 电阻率为 $5 \sim 8 \Omega \cdot \text{cm}$ 的硅片作双面抛光至约厚 $600 \mu\text{m}$, 经热浓硫酸浸泡后用丙酮煮沸并超声处理, 清洗后用无水乙醇浸泡待用

(2) 离心法制膜: 利用多重旋转离心法涂布光刻胶, 转速为 5000 转/分, 80° 下预烘, 相邻涂胶操作间的快速烘焙温度为 60° , 光刻胶采用国产 BP212 紫外正型

(3) 光刻: 光刻版为面积 $5 \times 5 \text{cm}^2$ 的铬版, 阵列规模 128×128 元, 每单元矩图形的尺寸为 $45 \times 45 \mu\text{m}^2$, 相邻矩图形的间距为 $5 \mu\text{m}$.

(4) 熔融成形及固化: 将光刻后制成的膜版在氮气氛下加热至约 160° , 在此过程中光刻胶图形熔融形成矩底拱面状, 然后作固化处理

(5) 离子束刻蚀: 离子束刻蚀在国产 LD-3 型离子束镀膜刻蚀机上进行, 工作物质为 Ar, 离子束的束径约为 10cm , 最大束流密度约为 1.5mA cm^{-1} , 束能在 $500 \sim 1000 \text{eV}$ 的范围内可调, 束流入射角约为 45° ; 选转工作台用大功率半导体热电致冷器冷却, 高真空工作腔的本底真空度为 10^{-4}Pa 量级, 工作气压为 10^{-2}Pa 量级

(6) 后处理: 将刻蚀后的样品用热浓硫酸浸泡去残胶, 清洗后用无水乙醇浸泡待用

2.2 离子束刻蚀

离子束刻蚀是一种利用带有较高能量的离子束轰击靶材使其表层被逐渐剥离的物理溅射研磨技术. 通过控制入射离子束的束能及利用掩模图形与衬底在离子束刻蚀过程中的匹配特性可以实现掩模图形向衬底材料上所作的选择性转移^[6], 从而得到具有所需参数指标的场发射阵列元件. 我们根据实验所得出的离子束刻蚀速率 S 的经验关系式为:

$$S = K_1 \frac{Y(E, \theta) (K_2 - Q^{K_3/b}) \sin K_4 (\theta - \theta_0)}{\lg(K_5 \rho / \rho_0)} \quad (0 < Q < 1) \quad (1)$$

式中 J_b 为束流密度; ρ 为靶材密度; ρ_0 为作刻蚀用靶材所须具有的最小密度; $Y(E, \theta)$ 为溅射产额; θ 为束流入射角; θ_0 为初始位相; $K_1 \sim K_5$ 及 Q 为各相关常数. 由此可见, 离子束对靶材的刻蚀速率除与离子束本身的特点和空间分布状态有关外, 还与靶材的密度和硬度等密切相关. 因此, 通过调整离子束对光致抗蚀剂掩模图形和衬底的刻蚀速率的差异, 可制作出与掩模图形具有不同的表面形貌特点的衬底图形.

3 表面形貌测试的结果与讨论

利用日本 JSM 扫描电子显微镜和英国 DEKTA K-II 型表面轮廓仪对所制样品作表面形貌测试, 测试结果见图 2 及图 3(见图版 D), SEM 照片上的微小白色颗粒是在作 SEM 测试时粘染的灰尘, 作该项测试时各样品均呈一定的倾角, 放大倍率为 430 倍. 由图 2 可见, 经固化处理后的光致抗蚀剂掩模图形整齐规则, 单元矩底拱面状图形的间隔均匀, 表面光滑平整. 图 3 是经 1000eV 离子束刻蚀后得到的硅微尖样品的表面形貌照片. 由此图可见, 原

每单元光致抗蚀剂图形矩底的四个顶角已被离子束剥离, 光致抗蚀剂矩底拱面状图形转移到硅衬底上后变成近圆锥状四面体形的微尖, 其底部及四棱的边缘清晰, 顶角较为尖锐。用表面轮廓仪测试后估算得知, 硅近圆锥状四面体形微尖的底面积仅为光致抗蚀剂图形矩底面积的 45% 左右, 微尖的顶角约为 8.39 空间立体角。进一步实验后可知, 经由 950eV 离子束刻蚀后得到的硅图形的底面积较 1000eV 束能所刻蚀出的图形有所增大, 可明显看出其底部图形是光刻胶图形底部矩形的桶形畸变。测试得知其底面积仅为光致抗蚀剂图形矩底面积的 50% 左右, 微尖的顶角约为 9.32 空间立体角, 四面体的四个棱仍清楚可见。但该样品的图形较上述图形已有明显的变化, 顶角的锐度降低, 边棱已不如上述图形的清晰。鉴于此, 我们进一步降低了刻蚀用离子束的能量, 在 900eV 时得到了底部畸变较小但顶角的锐度进一步降低, 边棱较为模糊的图形。

为了深入考察硅图形的顶角及边棱随离子束能量的降低所具有的特点, 我们进一步降低了离子束的能量至 850eV, 此时所制成的硅图形的表面状态已明显差于 900eV 离子束能量时的图形。我们又分别用 800eV 及 750eV 能量的离子束作了刻蚀操作, 由实验结果可知, 1000eV 能量的离子束刻蚀出的硅微尖图形最好, 其次为 950eV 能量状态时的图形, 900eV 能量状态时的差一些。从 850eV 能量状态起至 750eV 时的硅图形底部的面积较光刻胶图形的底面积已无显著变化, 其顶角的锐度逐次降低, 已观察不到如上述那样清晰的近圆锥状四面体形微尖的四棱。

为了考察光刻胶图形的厚度(冠高)在离子束刻蚀的过程中对硅图形表面形貌的影响, 我们又制作了低厚度的光刻胶图形, 并经 500eV, 600eV 及 700eV 能量的离子束刻蚀。实验结果如图 4(见图版 D)中的 B 线所示。由图 4 可知, 衬底图形的顶角锐度的高低及边棱清晰程度的好坏不仅与离子束的刻蚀能量有关, 而且亦受光刻胶图形厚度(冠高)的影响。对厚胶图形(或薄胶图形)而言, ~ 1000eV (或~ 700eV) 能量的离子束在我们现有的实验条件下对制作面阵硅微尖器件来说是较为合理的主要工艺参数之一。

4 结语

根据以上分析, 可得出如下主要结论:

(1) 刻蚀用氩离子束的能量对最终所制成的硅图形的表面形貌有显著影响, 根据具体的要求选择合理的束能可以明显增大硅图形的顶角锐度及四面体四棱的清晰程度。

(2) 经热处理后的光刻胶图形的厚度对硅图形的形貌也有显著影响。在具有相同能量的氩离子束刻蚀后, 薄胶图形所制成的硅微尖的顶角锐度明显高于厚胶图形所制成的相应样品。

(3) 本文采用的工艺为制作更大面阵硅微尖阵列、硅微环尖阵列及硅微棱镜阵列提供了一条可行的途径。

参 考 文 献

[1] 赵建平, 王曦, 陈智颖, 等, 中国科学(E 辑), 1997, 27(3): 218

[2] A. Y. Tcherepanov, A. G. Chakhovskoi, V. B. Sharov, J. Vac. Sci. Technol. B, 1995, 13(2): 482

- [3] 元光, 金亿鑫, 金长春, 等, 半导体学报, 1997, 18(1): 1.
[4] 元光, 金亿鑫, 金长春, 等, 发光学报, 1996, 17(4): 341.
[5] H. F. Gray, G. J. Campisi, R. F. Greene, IEDM Tech Dig., 1986: 776
[6] 张新宇, 易新建, 赵兴荣, 等, 光子学报, 1998, 27(1): 60

Fabrication of 128×128 Area Silicon Field Emission Arrays Using Ar Ion Beam Etching

Zhang Xinyu, Yi Xinjian, Zhao Xingrong, Zhang Zhi, He Miao

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Received 1 November 1997, revised manuscript received 18 March 1998

Abstract The area Si field emission arrays of 128×128 are fabricated by using photolithography and ion beam etching, the morphology of the samples prepared are analyzed by SEM and surface style measurement, the technology properties of fabricating Si microtips are discussed. By the experimental results, we know that the technology used can be applied to fabricating larger area microtips arrays and microplateform arrays.

PACC: 6855