

GaAs(100) 面光栅皱折的形成

刘枝伍 曹根娣

(中国科学院上海光机所)

提要: 使用光致抗蚀剂的全息干涉曝光、显影方法在 GaAs(100) 面衬底上形成光致抗蚀剂光栅图形。采用选择化学腐蚀将光致抗蚀剂光栅浮雕图形转换到 GaAs(100) 面衬底上。已成功地在 GaAs(100) 面衬底上制作了周期为 0.33 微米的光栅皱折。在 GaAs(100) 面上的光栅皱折具有良好的 V-形沟槽轮廓。

Formation of grating corrugations in GaAs (100) planes

Liu Zhiwu Cao Gendi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract The relief patterns of photoresist grating in GaAs (100) plane substrate is produced by holographic interferometric exposure and photoresist development. The grating relief patterns of photoresist is then transferred to GaAs (100) plane substrate by preferential chemical etching. Gratings with a period of $0.33 \mu\text{m}$ have been successfully fabricated on GaAs (100) plane substrate and the grating corrugation has better V-shaped groove profile.

全息干涉形成的光栅线条的光强分布通常呈正弦分布的。记录在光致抗蚀剂上的全息图,经过显影及其他适当处理,得到均匀平行的等间距的抗蚀剂光栅浮雕图形。采用离子刻蚀技术或选择化学腐蚀方法,可以将抗蚀剂光栅浮雕图形转换到玻璃或 GaAs 衬底上。

本实验的全息光栅曝光系统光路如图 1 所示。He-Cd 激光器发射的 4416 \AA 的单模激光束,经全反射转向棱镜入射于光束分束板上,激光束被分束板分成两列光束而分别入射到两个全反射镜上。两列光束再经扩束望远镜将光束扩展成直径为 25 毫米的准直光束。当这两列准直光束以所需要的 2α 角相迭于样品台处,在干涉场区域便形成均匀

平行的等间距干涉条纹。用高倍率的显微镜系统可以直接观察并鉴别干涉条纹的质量。

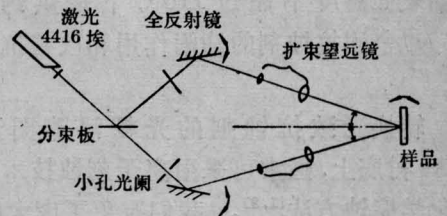


图 1 全息光栅曝光光路图

为避免具有半反射涂层的分束板背面所产生的次反射光束的影响,分束板与全反射镜之间放置一小孔光阑,用于滤去次反射光束的影响。在全反射镜与扩束望远镜之间的小孔光阑,可以进一步降低激光束进入扩束

收稿日期: 1980 年 1 月 17 日。

望远镜前各类杂散光的影响。GaAs 样品放置在样品台上，样品台可以作旋转及高低的调整，使涂有光致抗蚀剂表面的法线与光束夹角平分线重合。

GaAs 晶锭用光学法定向沿 [100] 切割成薄片。进行仔细的清洗、研磨，然后再进行机械抛光得到平整光滑的镜面。为除去水分，样品涂复光致抗蚀剂前必须置于 250 瓦红外灯下焙烘约 1 小时，并使样品表面温度达 150°C 左右。我们采用自装的离心式匀胶设备，将正性光致抗蚀剂 AZ-1350J 均匀地涂布在 GaAs 衬底上。光致抗蚀剂涂层的厚度取决于抗蚀剂的稀释程度和离心机的转速。一般要求膜层厚度不要严重超过光栅周期。涂了抗蚀剂的 GaAs 晶片首先在 65°C 下预烘约 20 分钟，然后把样品置于样品台上进行全息干涉曝光。曝光后，全息光栅条纹便存储在抗蚀剂膜层中了。随后用 AZ-1350 显影液显影，显影液用去离子水作 1:1 稀释。亮条纹使光致抗蚀剂曝光，而被显影液所溶解；暗条纹则相当于起掩模作用，不使光致抗蚀剂曝光，而不被显影液所溶解。显影后便得到在 GaAs(100) 面衬底上光致抗蚀剂的光栅浮雕图形。为了保证下一步选择化学腐蚀过程的顺利进行，显影后的样品必须置于红外灯上，让红外线透过 GaAs 样品进行后烘，在样品表面温度不超过 115°C 下焙烘约 1 小时，以坚固抗蚀剂的沾附作用和改善抗蚀能力。

转换光致抗蚀剂的光栅浮雕图形到 GaAs 衬底上，通常可采用离子刻蚀技术和选择化学腐蚀方法^[1,2]。我们避免了庞大的离子刻蚀设备的苛求，采用了简单可行的选择化学腐蚀技术。这种技术是基于 GaAs 晶体沿 <111> 方向呈现出极性。因此，这种结构存在二个典型的 {111} 面，称为 A{111} 面和 B{111} 面。它们的腐蚀速率存在明显的差异。其腐蚀速率的次序是 {110} ≥ B{111} ≥ {100} > A{111}。A{111} 面的腐蚀速率

是很缓慢的。根据 GaAs 的晶体结构，与 GaAs(100) 面相交截的 A{111} 面和 B{111} 面具有双重对称性。因此，当在 GaAs(100) 面上选择光栅线条沿 [011] 和 [01 $\bar{1}$] 方向时，选择化学腐蚀后，将出现倒台面和正台面的沟槽轮廓。图 2 表示用 (C₆H₁₀O₈)₂·H₂O₂ 系混合液选择化学腐蚀 GaAs(100) 面得到的沟槽基本轮廓。为获得 V-形的光栅沟槽轮廓，我们选择光栅线在 GaAs(100) 面上沿 [01 $\bar{1}$] 方向。采用的选择化学腐蚀溶液为 50% 重量比的 (C₆H₁₀O₈)₂·H₂O₂ = 15:1^[3]，腐蚀在室温下进行，其腐蚀速率约为 30 埃/秒。这样低的腐蚀速率，一般可以避免脱胶现象的出现。在 GaAs(100) 面衬底上，我们已制作了光栅周期 $\Lambda = 0.43$ 微米的光栅皱折表面，其相应光栅线为 2300 条/毫米。图 3(a)、(b) 分别为在 GaAs(100) 面上观察到光栅线照片和 GaAs(01 $\bar{1}$) 解理面上观察到的 V-形沟槽光栅轮廓照片，其光栅周期为 0.43 微米。最近，我们成功地在 GaAs(100) 面衬底上刻制出光栅周期 $\Lambda = 0.33$ 微米的光栅皱折表面，其相应的光栅线条为 3000 条/毫米。图 4(a)、(b) 分别在 GaAs(100) 面和 (01 $\bar{1}$) 面上观察的扫描电镜的照片。

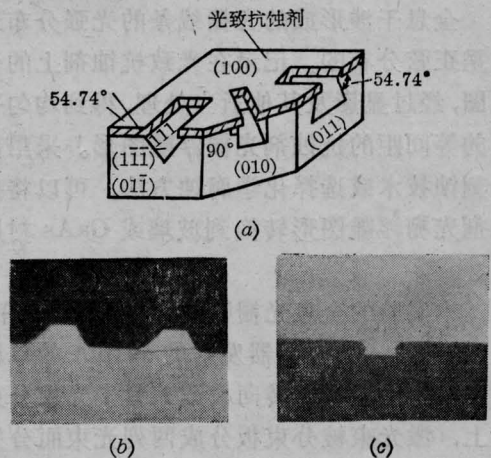
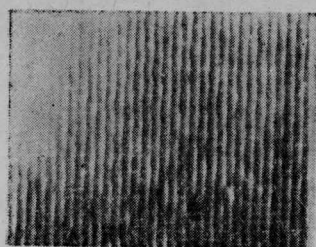
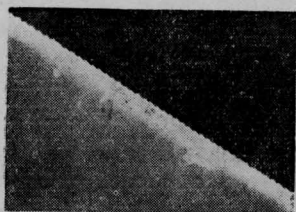


图 2

(a) 选择化学腐蚀 GaAs(100) 面得到的沟槽基本轮廓；(b) 掩模模口沿 [011] 方向时，(011) 面的沟槽轮廓照片；(c) 掩模槽口沿 [01 $\bar{1}$] 方向时，(01 $\bar{1}$) 面的沟槽轮廓照片



(a)



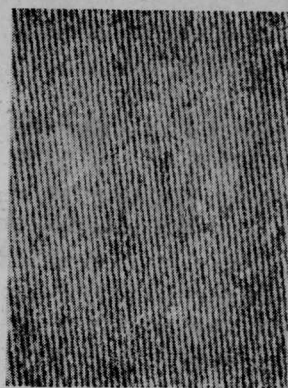
(b)

图3 用选择化学腐蚀 GaAs(100)面得到的光栅皱折表面照片

光栅周期 $\lambda=0.43$ 微米 (相应光栅线条为 2300 条/毫米); (a) GaAs(100)面的 SEM 照片(3750 \times); (b) GaAs(011)面的 SEM 照片(3750 \times)

我们知道,如果两列光束强度不相等,那么干涉条纹中暗条纹的光强度不为零,因此在干涉场中干涉条纹的强度反差欠佳,甚至会出现互相交迭现象。这样在显影处理后,往往造成光栅线条不够清晰,或者降低了抗蚀剂的抗蚀能力。所以,严格选取分束板的透过率,或者采用光束强度补偿衰减办法,使两列光束强度达到基本平衡,对获得大面积的均匀光栅浮雕图形是很重要的一环。

选择化学腐蚀技术是转换光栅皱折到 GaAs 衬底的重要工艺手段。值得指出的是转换光栅浮雕图形选择化学腐蚀,与通常激光器件中的选择化学腐蚀不完全相同。它要求尽可能低的腐蚀速率并能均匀地进行,以便于控制光栅沟槽深度。因为小周期的光栅线条情况,抗蚀剂膜层厚度只有 1000~2000 埃范围,要求腐蚀液对抗蚀剂几乎不溶解。



(a)



(b)

图4 用选择化学腐蚀 GaAs(100)面得到的光栅皱折表面的 SEM 照片

光栅周期 $\lambda=0.33$ 微米 (相应光栅线条为 3000 条/毫米); (a) GaAs(100)面的 SEM 照片(3750 \times); (b) GaAs(011)面的 SEM 照片(3750 \times)

关于 GaAs 晶体极性效应和选择化学腐蚀过程沟槽轮廓控制方面,已有许多文章报导和讨论,这里不作专门讨论了。

上海半导体器件研究所电镜组亢为龙等同志协助我们拍摄了扫描电镜形貌照片,特致以感谢。

参 考 文 献

- [1] W. T. Tsang, S. Wang; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, 28, 44.
- [2] Y. Tarui *et al.*; *J. Electrochem. Soc.*, 1971, 118, 118
- [3] Mulsuyuki Qtsubo *et al.*; *J. Electrochem. Soc.*, 1976, 123, 676.