

制备光致抗蚀剂光栅掩膜的衍射控制技术

李 燕 徐 迈 王淑荣 马长虹

(中国科学院长春物理所)

摘要: 通过显影过程对光致抗蚀剂光栅负一级衍射效率的观测, 实现了分布反馈(DFB)光栅掩膜槽深和形状的最佳控制。该技术适用于各种集成光学波导光栅的制备。

一、引 言

为研制半导体 DFB 激光器, 需在外延生长的有源层(或波导层)上制备精细的布拉格 DFB 光栅, 以取代半导体二极管激光器的法布里-珀罗(F-P)谐振腔实现激光振荡, 达到纵模的有效控制。因此, 成功的制备 DFB 光栅是实现半导体 DFB 激光器的关键技术之一。

二、光栅掩膜的制备问题

制备 DFB 光栅目的是使有源层(或有源一波导层)中传播的光束实现分布反馈增益, 从耦合模理论给出的导模反向耦合的相位匹配条件为^[1]

$$k = \frac{l\lambda}{2n} \quad (1)$$

式中 λ 是光栅周期, l 是光栅衍射级次, λ 是激光振荡波长, n 是有源层(或有源一波导层)的有效折射率。光栅反射系数为^[1]

$$R = \tan h(\Gamma L) \quad (2)$$

式中 L 为光栅长度, Γ 为光栅耦合系数, 是近似与光栅槽深成正比的量^[2]。在光栅长度一定时, 为获得较大的 R 值, 就要求有较深的光栅沟槽。从(1), (2)两式可知, 理想的 DFB 光栅是短周期深沟槽光栅, 这一特点给制备技术带来了困难。因为

(1) 作为掩膜的光致抗蚀剂光栅是正弦形^[3], 周期越短, 光栅沟槽越浅。

(2) 为在有源层(或有源一波导层)形成离子(或化学)蚀刻光栅, 作为掩膜的抗蚀剂光栅沟底必须达到样品表面, 这就需要使旋转涂敷在样品表面的光致抗蚀剂层尽可能的薄, 又要保持在样品表面处处均匀, 这不仅给涂胶工艺带来难度, 也使曝光和显影时间不易控制。W. T. Sang 和 S. Wang 虽然提出了制备深沟锐脊抗蚀剂光栅掩膜的同时曝光和显影方法^[4], 但用于 DFB 短周期光栅的制备, 因在空气中观测不到负一级衍射而不能实现有效地光栅槽深的精确控制。

三、衍射监控技术的提出

为解决掩膜光栅槽深的控制问题，我们采用过曝光和显影监控技术。

(1) 在样品表面旋转涂敷光致抗蚀剂，厚度不超过所设计光栅周期的一半。

(2) 从给定的光致抗蚀剂感光度与曝光量特性曲线，确定曝透光致抗蚀剂层时干涉条纹亮线的强度，从中选择激光功率和曝光时间，实际采用的亮线条纹曝光量要稍大于曝透胶层厚度所需的最低曝光量，我们使用的激光波长为He—Cd激光441nm。

(3) 曝光后的样片浸入显影槽，显影过程监测掩膜光栅负一级衍射效率的变化(此时记录仪接收的电讯号在mV量级)，当衍射效率达到峰值拐点时，即刻停显。此时即可获得理想的光致抗蚀剂光栅掩膜图形。图1示出利用He—Ne激光束监控衍射效率时，在 $2.5\mu\text{m}$ 周期下显影过程各阶段，光致抗蚀剂光栅槽深变化与负一级衍射效率的关系曲线。M.G.Moharam and T.K.Gaylord的理论及实验工作证明，光致抗蚀剂光栅槽深增加，负一级衍射效率单调上升，当光栅槽深与周期之比约等于1.5时，衍射效率达到峰值(约85%)^[1]此后光栅槽深再增加，衍射效率下降。

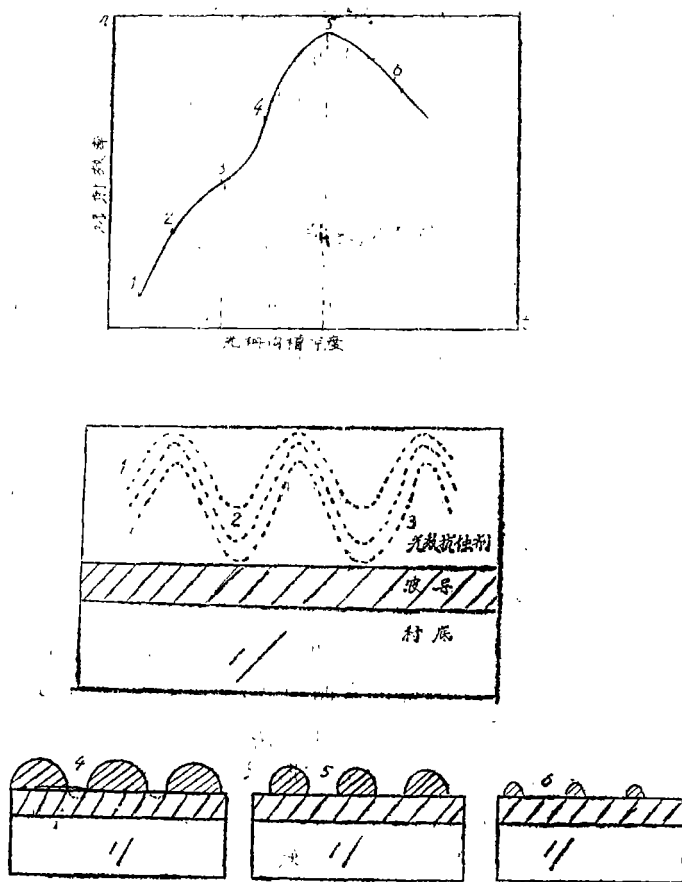


图1 (上)衍射效率随光栅槽深变化关系实验曲线
(下)显影各阶段光致抗蚀剂光栅槽形剖面示意

四、衍射控制装置的建立

由于光栅周期较短，激光入射到样品上在空气中观测不到负一级衍射，所以采用自准入射。实验装置如图 2 所示。He—Ne 激光束 (633nm) 经自准入射到正在显影的光致抗蚀剂光栅样品上，其负一级衍射光经原路射回，通过反射镜反射入光电二极管，并显示在记录仪

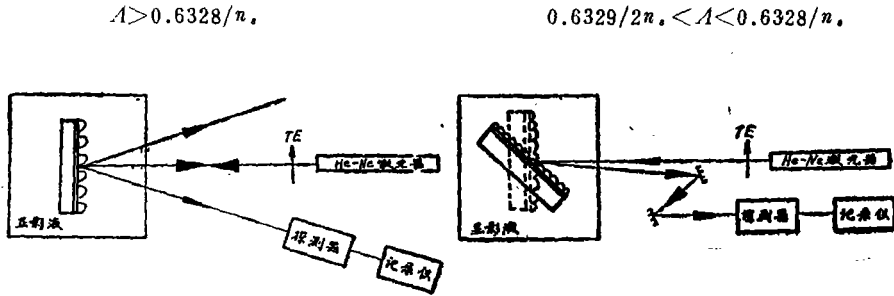


图 2 衍射监控实验装置

上。此时的光束入射角 θ_i (自准入射) 由下式给出:

$$\theta_i = \sin^{-1} \frac{\lambda_0}{2n_s \Lambda} \tag{3}$$

λ_0 为入射激光波长, n_s 为显影剂折射率。显影剂需充分稀释, 以便使整个显影速度减慢。自准入射可监控光致抗蚀剂掩膜光栅的周期范围为 $632\text{nm}/2n_s < \Lambda < 632\text{nm}/n_s$, 适于短周期光栅的制备; 也可通过激光束正入射到样品表面, 监控长周期光栅的衍射, 即 $\Lambda > 632\text{nm}/n_s$, 此时在空气中可观测到负一级衍射光, 因此它可广泛用于各种材料的集成光学 DFB 光栅及耦合光栅的掩膜制备。利用这一技术, 我们在 InP 晶片表面上制备了周期 400nm 的光致抗蚀剂光栅掩膜, 并进一步制备出了化学蚀刻光栅, 获得了较高成品率, 为 InP/InGaAsP DFB 激光器的研制提供了有价值的技术手段。

参 考 文 献

- [1] A.Yariv and M.Nakamura, IEEE.J.Q.E.(1977) QE-13 No.4 p233
- [2] G.I.Stegeman, D.Sarid, J.J.Burke, and D.G.Hall; J.Opt.Soc.Am., (1981) 71, 1497.
- [3] M.J.Beasley and J.G.Castledine; Appl.Opt., (1970) 9(12), 2720—2724
- [4] W.T.Tsang and S.Wang; Appl.Phys.Lett., (1974) 24(4), 196—199
- [5] M.G.Moharam, T.K.Gaylord; J.Opt.Soc.Am., (1982) 72(10) 1385—1392.

Diffraction Monitoring Technique for Fabricating Photoresist Grating Masks

Li Yan Xu Mai Wang Shurong Ma Changhong

Abstract

The optimum conditions for monitoring grooves and configurations of the photoresist grating masks are obtained by the observation of the negative first-order diffraction efficiency during development. This technique can be used for fabricating various waveguide gratings for integrated optics.