

用于 $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB 激光器的 $\lambda/4$ 相移衍射光栅

缪育博 张静媛 王 坪

(中国科学院半导体研究所, 北京, 100083)

1990 年 6 月 18 日收到, 8 月 14 日定稿

采用全息二次曝光的方法, 研制出用于 $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB 激光器的, 具有 $\lambda/4$ 相移的二级光栅, 并通过扫描电镜 (SEM) 证明了相移的存在。本文分析了制备该种光栅的工艺原理, 并提出了改善此种光栅质量的新方法。

一、引言

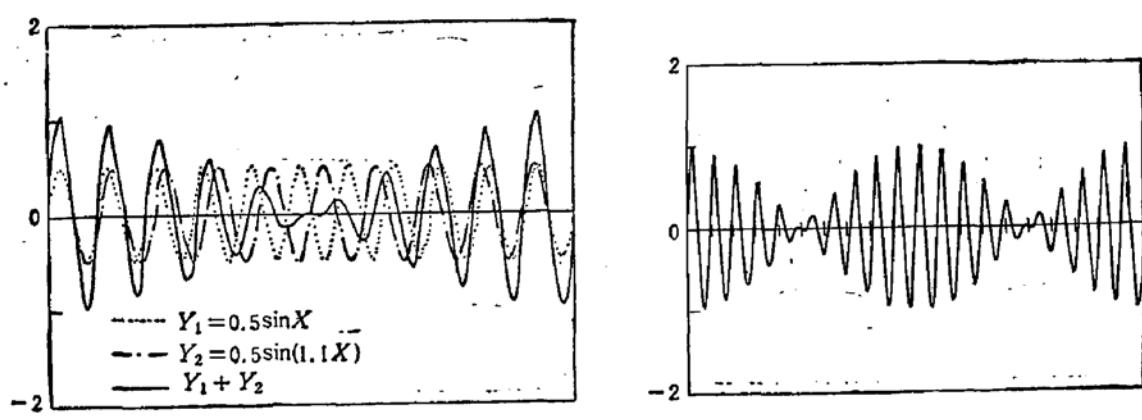
DFB 激光器是长距离、大容量光纤通讯最理想的光源^[1,2]。但在具有均匀光栅的普通 DFB 激光器中, 理论上, 存在两个等距离地分布于 Bragg 波长两边的纵模, 具有相同的激射几率^[3]。这种模式的简并, 使得激射波长和所设计的 Bragg 波长有偏差, 并且还会由于温度和注入电流的变化而发生跳模。为了获得单模输出, 已有人采用单窗、双窗等方法^[4], 但工艺复杂。而具有 $\lambda/4$ 相移光栅的 DFB 激光器^[5], 由于耦合系数 k 分布的不均匀性, 使得上述模式简并得到解除, 并实现了 Bragg 波长处的共振^[6,7], 产生稳定的单模输出, 大大提高了单模成品率。

制备 $\lambda/4$ 相移光栅的方法很多; 本文所报道的是用简单的全息二次曝光技术制备 $\lambda/4$ 相移光栅的工艺原理和实验结果^[8], 并提出了一种改进该种光栅质量的新方法。

二、工艺原理

$\lambda/4$ 相移光栅是一种不均匀的光栅, 这种不均匀性有二种具体形式, 即: 周期突变型和周期渐变型。制备 $\lambda/4$ 相移光栅的方法有很多, 诸如电子束曝光法、SOR X 射线法、全息二次曝光法等等, 前两种方法易控制, 可以制备任意类型的光栅且质量好, 但我们不具备此类工艺手段。因而, 我们采用了最简单的全息二次曝光法, 制备了一种周期渐变的相移光栅。

相干光全息曝光法, 干涉条纹实际是光强呈周期性分布的结果, 可以用 $I = I_0 \sin \phi$ 表示。用光刻胶记录这种光强的周期性分布, 通过一般的光刻手段, 即可在衬底上得到周



(a) I 分布图中一个渐变单元的叠加情况 (b) 含二个渐变单元的分布图,是一个调制的函数图形

图 1 I 分布图

期性条形结构的光栅。全息二次曝光法,即用同一光刻胶膜记录二种不同周期的干涉条纹,光刻胶所记录的总曝光强度为二次曝光强度的叠加: $I = I_0(\sin \phi_1 + \sin \phi_2)$, 如图 1 所示。

A. 这种方法得到的光栅的周期是渐变的,而这种渐变又具有周期重复性,一个完整的渐变单元完成 2π 相位移动,因而,在每一个渐变单元中央发生 π 位相移动,实现了 $\lambda/4$ 相移。该相移出现周期与二次曝光之间的周期差异相关。设置一个光栅相位参量 K ,使得 $\phi = Kx$, 二次曝光之间的周期差异由 ΔK 表示: $K_1 = K + \Delta K$, $K_2 = K - \Delta K$, 则 $I \propto I_0 \cos(\Delta Kx) \sin(Kx)$, 调制周期 $\frac{2\pi}{\Delta K}$, 即为相移出现周期。

B. 每个渐变单元中央区和边缘区的曝光量差异很大,条纹宽度也不同。假设显影后可得到如图 2 象征性掩膜情况(因为曝光量不同显影速度有异,实际胶膜情况有异)。上述差异将造成两种结果: ① π 相移区附近的光栅深度与较远区不同。②由于 π 相移区附近曝光量严重不足,使得该区光栅断条严重,我们称这个不均匀区为过渡区。实验结果将在三中讨论。

我们还对这种方法进行了补充。当采用的曝光强度在二次曝光中也有差异时,设

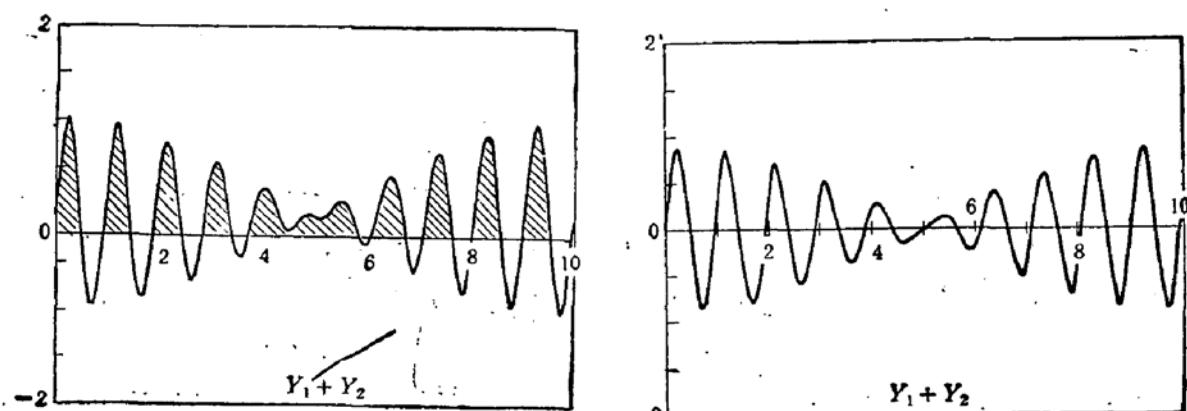


图 2 阴影部分代表显影后胶的掩膜,可见波节区即过渡区内将分不出条形

图 3 二次曝光量不同的光强叠加分布图,与图 2(a)比较,二者在波节区有差别

$I = I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2$, 分布如图 3 所示, 可以发现, 过渡区的条宽增加了, 曝光量也增加了。因而, 选择合适的曝光强度差, 可以减少或消除过渡区断条, 改善光栅质量。

三、实验及结果

图 4 为本实验所采用的全息光路图。曝光光源为输出波长 3250\AA 的 He-Cd 激光器, 样品架可旋转以改变曝光角。由相干条件有: $2n\Lambda \sin \theta = \lambda$, Λ 可用光栅参数 K 表示 $\Lambda = \frac{2\pi}{K}$, 则 $K = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \theta$, λ 为曝光波长, θ 为曝光角, Λ 即光栅周期。两次曝光间曝光角改变 $\Delta\theta$, 产生的不均匀光栅调制周期 $\frac{2\pi}{\Delta K} = \frac{\lambda}{\sin \theta - \sin(\theta + \Delta\theta)}$ 。如果管芯长 $200\mu\text{m}$, 那么 $\lambda/4$ 相移出现周期应略大于 $200\mu\text{m}$ 。对 $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB 激光器, 二级光栅周期 $\Lambda \approx 4600\text{\AA}$, 因而 $\theta \approx 20.7^\circ$, 由此得到 $\Delta\theta \approx 0.1^\circ$ 。本实验采用 AZ 1350 光刻胶掩膜, 用反应离子刻蚀 (RIE) 的方法将图形转移到 InP 或 InGaAsP 衬底上。

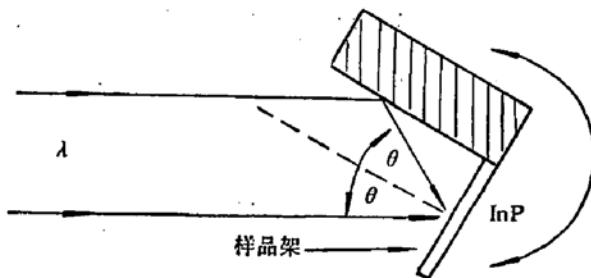


图 4 光路系统图

实验结果如图 5、6、7* 所示。图 5、6 为 $\lambda/4$ 相移光栅过渡区附近的 SEM 图。中间一条光栅是取自同一样片不同部位的光栅, 将其做为标准, 可以显示出相移的发生。所不同的是: 图 5 光栅在制备过程中, 二次曝光之间的曝光量是不同的, 并对其比例进行了优化。可以看出第二部分定性分析的结果: 此种方法存在一个严重断条的过渡区光栅; 通过二次曝光量不同的曝光, 可以改善和消除过渡区光栅断条。图 7 为该种具有 $\lambda/4$ 相移光栅的低倍 SEM 图, 这些宽条并非光栅, 照片上的暗线对应的即为过渡区。正由于过渡区光栅与其它区光栅深度的差异所产生的反衬度, 在低倍 SEM 下, 才显示出这种宽条。宽条的周期就是调制周期, 也就是 $\lambda/4$ 相移出现的周期。

采用二次不同曝光量的曝光方法, 尽管可以改善过渡区光栅断条情况, 却不能消除过渡区光栅与其它区光栅深度的差别, 因而二种方法得到的光栅在低倍 SEM 下, 均有图 7 的宽条存在。

如第二部分分析的那样, 每一个渐变单元中央区和边缘区的曝光量差别很大, 实验中, 对显影的要求很高, 实际上, 显影条件是相当邻界的。因而这种方法制备光栅不易控

* 图 5, 6, 7 见图版 1.

制。目前有电子束曝光、SOR X 射线等方法能够很方便地制备高质量的相移光栅(只要有工艺条件)。

我们没有具有此种光栅器件的测试结果;但可以预见到:由于该光栅周期及深度都是不均匀的、渐变的,是一种调制光栅,必然增加光的杂散射,使器件阈值增加。

感谢陈纪英、任悦英对本工作给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] Y. Itaya, *IEEE J. of Quant. Electron.*, **20**, 230(1984).
- [2] Y. Suematsu, *IEEE J. of Light-Wave Technol.*, **CT-1**, 161(1983).
- [3] H. Kogelnik, C. V. Shank, *J. Appl. Phys.*, **43**, 2327(1972).
- [4] K. Utaka, *IEEE J. of Quant. Electron.*, **19**, 1052(1983).
- [5] K. Sekartedjo, *Electron. Lett.*, **20**, 80(1984).
- [6] K. Tada, Monthly Meeting of Microwave Group, IECE, MW77, 1977 (Japan).
- [7] K. Utaka, *Electron. Lett.*, **20**(8), 320(1984).
- [8] G. Heise, SPIE, Integrated Optical Circuit Engineering, 651, 87(1986).

Holographic $\lambda/4$ Phase-Shifted Grating for $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB Lasers

Miao Yubo, Zhang Jingyuan and Wang Wei

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing, 100083)

Abstract

Second-order holographic $\lambda/4$ phase-shifted gratings have been fabricated in InP or InGaAsP by holographic double exposure for $1.55\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB Lasers. The phase-shift was confirmed by comparing the SEM microphotographs. The principle and technique for fabricating the gratings are described. A new method to improve the gratings is put forward.