

## 全息光刻中的驻波效应研究\*

邱克强<sup>†</sup> 刘正坤 徐向东<sup>†</sup> 刘颖 洪义麟 付绍军

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

(2011年2月25日收到; 2011年3月21日收到修改稿)

对光刻胶内光强分布进行了计算与模拟, 结果表明, 来自基底的反射光与入射光干涉, 光强在垂直基底的方向上呈现强弱周期性变化, 即驻波效应. 进一步的分析与实验结果表明, 随着基底反射率的增加, 驻波效应变得严重, 进而影响光栅掩模的槽形、占宽比并限制线条高度. 为减弱驻波效应的影响, 尝试了使用减反射膜降低基底反射光强度, 实验结果表明, 在基底与光刻胶之间增加一层减反射膜吸收来自基底的反射光强度, 减弱驻波效应的效果显著.

**关键词:** 全息光刻, 驻波, 减反射膜

**PACS:** 42.40.Eq, 42.40.Kw

## 1 引言

衍射光栅是一种应用非常广泛而重要的高分辨率色散光学元件, 在现代光学仪器中占有相当重要的地位. 近年来, 高密度精细衍射光栅制作的方法主要有全息光刻<sup>[1]</sup>、电子束光刻<sup>[2]</sup>及纳米压印<sup>[3]</sup>等制作技术. 作为一种传统的光栅制作方法, 全息光刻使用光刻胶记录双光束干涉条纹形成的光栅掩模, 再通过镀膜、离子束刻蚀<sup>[4]</sup>以及电镀<sup>[5]</sup>等手段将掩模图形转移到其他材料中, 它能在较短周期内产生高密度、大面积均匀一致的光栅结构.

为了保证图形的精确转移, 槽底无残余光刻胶且光栅线条侧壁陡直被认为是高质量的光刻胶掩模. 在金属基底上制作光刻胶掩模过程中, 曝光与显影实时监测技术<sup>[6]</sup>可以帮助判断槽底无残胶的时刻, 同时控制线条宽度, 但不能保证光刻胶线条侧壁陡直. 不仅如此, 大量的实验还表明: 在曝光过程中, 入射光束与来自基底的反射光束干涉叠加形成驻波, 尤其是在具有较高反射率的基底上通过全息光刻制作的光刻胶光栅掩模, 光栅线条侧壁呈驻波状而不再陡直, 这就是全息光刻中的驻波效应<sup>[7,8]</sup>.

驻波效应对厚胶光刻图形的影响不大, 对胶厚通常小于  $1\ \mu\text{m}$  的全息光刻图形却有较大的影响<sup>[9]</sup>. 稳定的干涉场是产生驻波的前提条件, 但为

了获得高对比度的干涉条纹, 牺牲系统稳定性来减弱驻波效应并不是一种值得提倡的方法. 本文针对全息光刻的实验条件, 计算并模拟了光刻胶中的光强分布, 分析了驻波效应对掩模槽形、占宽比及槽深的影响, 并给出减弱驻波效应的方法.

## 2 光刻胶中的光强分布

为了考虑光刻胶中光强的分布, 假设真空波长为  $\lambda_0$  的两平面单色波经分束、扩束及准直后, 双光束入射到涂布有均匀光刻胶层的基片上, 如图 1 所示.

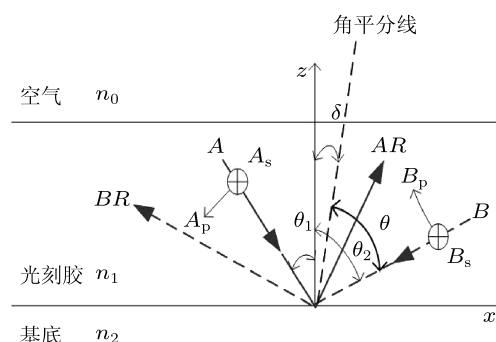


图 1 全息曝光中, 振幅分别为  $A, B$  的入射光束照射到光刻胶与基底界面示意图

两光束的复振幅分别为  $A, B$ , 在光刻胶 (折射

\* 国家自然科学基金 (批准号: 10776030, 10875128) 资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: blueleaf@ustc.edu.cn; xxd@ustc.edu.cn

率  $n_1$ ) 与基底 (折射率  $n_2$ ) 的分界面上, 入射角分别为  $\theta_1, \theta_2$ , 基片的法线与入射光束夹角平分线成  $\delta$  角, 即:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \theta - \delta, \\ \theta_2 &= \theta + \delta,\end{aligned}\quad (1)$$

其中  $\theta = (\theta_1 + \theta_2)/2$ .  $A_p, A_s$  与  $B_p, B_s$  分别为入射光束的复振幅  $A, B$  在平行和垂直入射面 ( $x-z$  平面) 分量.  $AR$  与  $BR$  分别代表两反射光束的复振幅,  $Ar_p, Ar_s, Br_p, Br_s$  分别是反射光束在平行和垂直入射面方向上的分量 (在图 1 中未表示出). 为简单起见, 本文不考虑光刻胶的吸收, 此时光刻胶的折射率  $n_1$  为实数, 且只考虑入射光为 TE 偏振的情况, 即电场只有  $y$  分量:

$$\begin{aligned}A_y &= A_s \exp[i\mathbf{k}(x \sin \theta_1 - z \cos \theta_1)], \\ AR_y &= r_{sA} A_s \exp[i\mathbf{k}(x \sin \theta_1 + z \cos \theta_1)], \\ B_y &= B_s \exp[-i\mathbf{k}(x \sin \theta_2 + z \cos \theta_2)], \\ BR_y &= r_{sB} B_s \exp[i\mathbf{k}(-x \sin \theta_2 + z \cos \theta_2)],\end{aligned}\quad (2)$$

其中光刻胶中波矢量  $\mathbf{k} = 2\pi n_1/\lambda_0$ ,  $r_p, r_s$  是入射光束在光刻胶与基底的界面上的 Fresnel 反射系数<sup>[10]</sup>. 光刻胶中光波的总电场为

$$E_y = A_y + B_y + AR_y + BR_y.\quad (3)$$

将 (1) 和 (2) 式代入 (3) 式并简化可以求得光刻胶中光强分布为

$$\begin{aligned}I_s \propto E_y^* E_y &= A_s^2 + B_s^2 + r_{sA}^2 A_s^2 + r_{sB}^2 B_s^2 \\ &+ 2A_s B_s \cos[2k(x \sin \theta \cos \delta \\ &- z \sin \theta \sin \delta)] \\ &+ 2r_{sA} r_{sB} A_s B_s \cos[2k(x \sin \theta \\ &\cos \delta + z \sin \theta \sin \delta)] \\ &+ 2r_{sA} A_s^2 \cos[2kz \cos(\theta - \delta)] \\ &+ 2r_{sB} B_s^2 \cos[2kz \cos(\theta + \delta)] \\ &+ 2r_{sB} A_s B_s \cos[(2k(x \sin \theta \\ &+ z \cos \theta) \cos \delta)] \\ &+ 2r_{sA} A_s B_s \cos[(2k(x \sin \theta \\ &- z \cos \theta) \cos \delta)],\end{aligned}\quad (4)$$

式中前 4 项代表入射光  $A, B$  及反射光  $AR, BR$  的强度, 第 5 项表示入射光  $A$  与  $B$  的干涉, 第 6 项代表  $AR$  与  $BR$  的干涉, 第 7 项与第 8 项分别代表  $A$  与  $AR, B$  与  $BR$  的干涉, 第 9 项代表  $A$  与  $BR$  的干涉, 最后一项是  $B$  与  $AR$  的干涉. 实验过程中, 通常使  $\delta$  接近于  $0^\circ$ , 因此, 假设基片的法线与入射光

夹角的角平分线重合, 即  $\delta = 0$ ,  $r_{sA} = r_{sB} = r_s$ , 光强

$$\begin{aligned}I_s \propto &A_s^2 + B_s^2 + r_s^2 A_s^2 + r_s^2 B_s^2 \\ &+ 2A_s B_s \cos(2kx \sin \theta) \\ &+ 2r_s^2 A_s B_s \cos(2kx \sin \theta) \\ &+ 2r_s(A_s^2 + B_s^2) \cos(2kz \cos \theta) \\ &+ 4r_s A_s B_s \\ &\cos(2kx \sin \theta) \cos(2kz \cos \theta)\end{aligned}\quad (5)$$

当  $z$  取常数时, 光强在  $x$  方向呈周期性分布,

$$d = \frac{2\pi}{2k \sin \theta} = \frac{\lambda_0}{2n_1 \sin \theta},\quad (6)$$

即双光束干涉形成的明暗相间的周期性条纹.

在 (5) 式中, 当  $x$  取常数时, 光强在  $z$  方向也呈周期分布, 且在

$$z = \frac{m\lambda_0}{4n_1 \cos \theta} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)\quad (7)$$

处取得极值, 周期  $T = \lambda_0/2n_1 \cos \theta$ .  $m$  为奇数时  $z$  为驻波最大, 即波腹;  $m$  为偶数时  $z$  为驻波最小即波节.

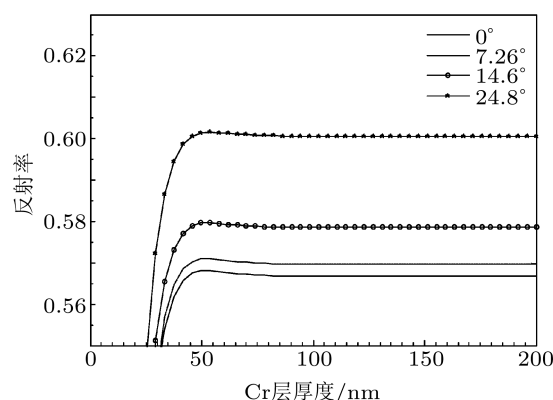


图 2 波长 441.6 nm He-Cd 激光在光刻胶与镀 Cr 层的玻璃基底界面上的反射率随入射角度及 Cr 层厚度的变化

以波长 441.6 nm 的 He-Cd 激光为例, 使用 AZ1350 光刻胶 (其折射率<sup>[11]</sup> 取  $n = 1.75$ ), Cr 的折射率  $n = 1.8 + 4.06i$ . 取  $z = 0$  面为光刻胶与基底的分界面, 当入射角分别等于  $0^\circ, 7.26^\circ, 14.6^\circ$  及  $24.8^\circ$  时, 在该界面入射光的反射率随 Cr 层厚度的变化如图 2. 4 个入射角度分别对应于正入射及制作周期  $1 \mu\text{m}, 500 \text{ nm}, 300 \text{ nm}$  的光栅图形时曝光光束在光刻胶中的入射角. 考虑在镀有厚度约为  $84 \text{ nm}$  Cr 层的玻璃基底上全息光刻制作周期  $1 \mu\text{m}$  的光刻胶光栅掩模图形, 光刻胶厚度  $375 \text{ nm}$ , 反射率为  $56.98\%$ . 根据 (5) 式得到光刻

胶中的光强分布如图 3(a), 光刻胶中的光强在垂直基底方向呈驻波状分布, 图 3(b) 是实验获得的光刻胶光栅图形.

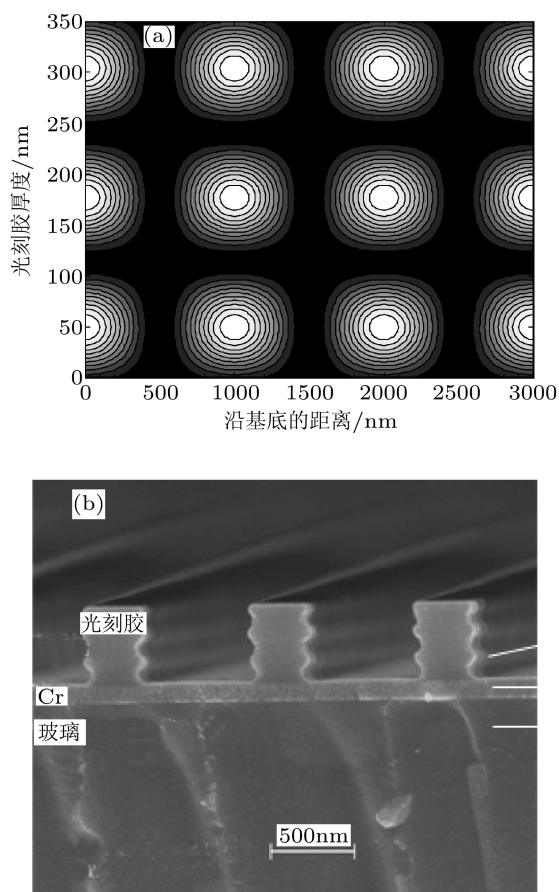


图 3 在镀有 84 nm Cr 层的玻璃基底上的光刻胶中全息曝光时, (a) 计算得到光刻胶中的光强的等值线分布, 以及 (b) 实验中获得的光刻胶光栅掩模图形

### 3 驻波的影响

#### 3.1 对槽形的影响

根据 (5) 式, 光栅槽的中心位置处于

$$x = \frac{m\lambda_0}{2n_1 \sin \theta} \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

为了讨论驻波对槽形的影响, 用处于光栅槽中心位置, 驻波强度的最大值 (波腹)  $I_s(z_{\max})$  与最小值 (波节)  $I_s(z_{\min})$  的比值来表征驻波的强弱程度. 假设  $\delta = 0$ , 根据 (5) 式与 (8) 式可以得到:

$$\frac{I_s(z_{\max})}{I_s(z_{\min})} = \frac{(1 + |r_s|)^2}{(1 - |r_s|)^2} \quad (9)$$

可见, 光强最大值与最小值的比值仅与界面的反射系数相关, 比值越大, 驻波效应越严重. 当反射

系数等于零时, 即光刻胶与基底界面没有反射, 比值等于 1, 则没有驻波.

图 4 是在镀有厚度分别为 5 nm 与 50 nm Cr 的玻璃基底上, 制作周期 575 nm 的光栅图形时用槽底光强的等值面近似显影后的光刻胶光栅槽形. 显影过程是显影液不断“蚕食”光刻胶的过程, 显影的速率不仅与曝光光强相关, 而且与显影时间相关, 因此, 显影后留下的光栅线条形状会有所差别. 曝光光束在光刻胶与 Cr 层的分界面反射率分别为 10% 和 58% (见图 2), 槽中心位置光强的最大值与最小值的比值分别等于 3.8 和 53.8, 图 4(b) 驻波效应较图 4(a) 严重. 可见随着基底反射率的增加, 槽内驻波光强最大值与最小值差距变大, 驻波效应越来越明显.

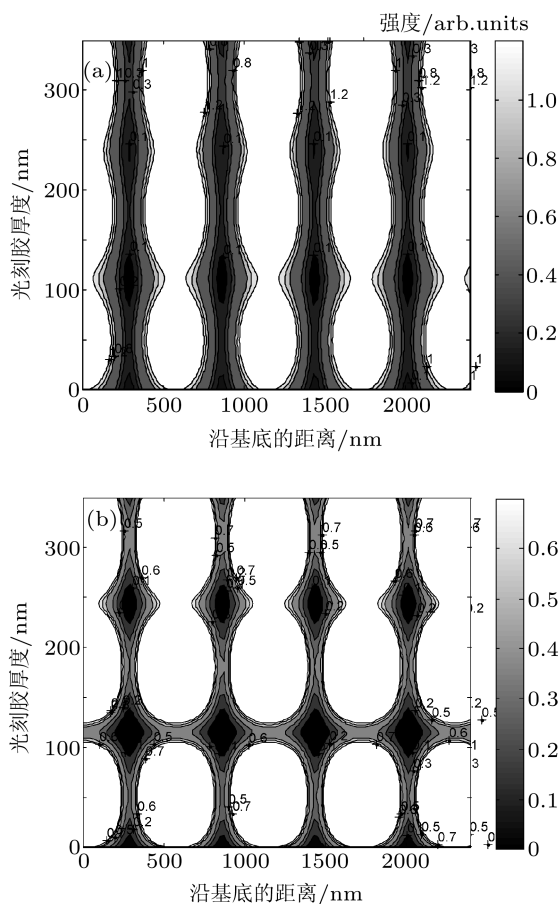


图 4 在镀有厚度分别为 (a) 5 nm 与 (b) 50 nm Cr 的玻璃基底上的光刻胶中制作周期 575 nm 的光刻胶掩模时, 用槽底光强的等值面近似显影后的光刻胶光栅槽形, 入射光强度偏差等于零 ( $A_s = B_s$ ).

在图 4(b) 中, 离基底最近的第一个驻波最小处, 相邻两线条连在一起, 这将阻止槽底附近 ( $z < 100$  nm) 光刻胶的溶解. 在实验过程中, 因为光强在整个基片上可能出现的局部不均匀, 以

及存在除干涉条纹之外的其他调制条纹,在这些地方处于光栅槽位置的光刻胶可能会率先溶解,从而露出光栅槽底.从这些地方开始,显影液便会沿光栅线条方向溶解因为相邻线条连接而被阻止显影的光刻胶,在适当的显影时间停止显影,可能仅留下第一个驻波最小处的光刻胶,而它上下位置的光刻胶都已被显影液溶解,结果形成有趣的“搭桥”现象,如图 5.

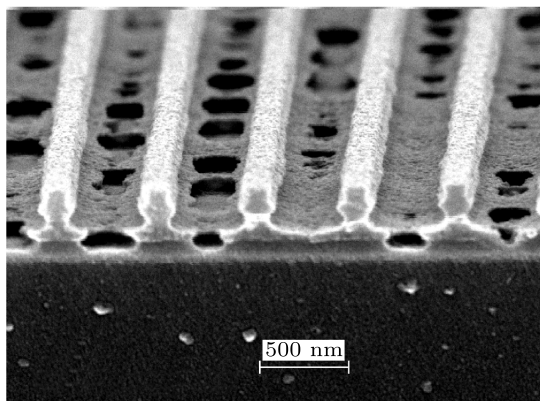


图 5 在镀 Cr 基底上全息光刻获得的 575 nm 周期的光刻胶光栅.不足的显影时间使得光栅槽里还有残余的光刻胶未被溶解,但恰好使得光栅槽里光强处于驻波极大的光刻胶被溶解,而靠近基底的第一个驻波最小处的光刻胶没有被溶解,结果出现相邻线条的“搭桥”现象.

### 3.2 对占宽比的影响

对于具有高反射率的基片,为了使槽底无残胶,必须增加曝光剂量与显影时间以冲破图 5 中相邻线条的连接处,这将使光栅线条变得更窄.因此,在高反射率基片上不易获得占宽比较大的光刻胶光栅图形.不仅如此,在制作高线密度的光刻胶光栅掩模时,严重的驻波效应将可能摧毁过窄的光栅线条,结果将限制线密度的提高.

### 3.3 对槽深的影响

在实验过程中,曝光光束的强度偏差是实验者所关心的参数之一,假设入射的双光束振幅满足:

$$B_s = CA_s \quad |C| \leq 1, \quad (10)$$

则光刻胶中光强分布

$$I_s \propto [1 + 2C \cos(2kx \sin \theta) + C^2] \times [1 + r_s^2 + 2r_s \cos(2kz \cos \theta)] A_s^2. \quad (11)$$

根据 (11) 式,在槽中心位置  $z$  方向上光强最小值

$$I_s^g(z_{\min}) \propto (1 + C)^2 (1 - |r_s|)^2 A_s^2, \quad (12)$$

在光栅线条中心位置的最大值

$$I_s^B(z_{\max}) \propto (1 - C)^2 (1 + |r_s|)^2 A_s^2. \quad (13)$$

比较 (12) 与 (13) 式,如果后者大于前者,槽内的光刻胶还没被完全溶解时,光栅线条可能已经被显影液完全溶解,从而损毁光刻胶光栅线条.因此,为了使光栅线条不被破坏,应该保证  $I_s^g(z_{\min}) > I_s^B(z_{\max})$ , 则

$$|r_s| < C \leq 1. \quad (14)$$

对镀有 100 nm Cr 层的玻璃基底,当制作 300 nm 周期的光刻胶光栅时(对应光刻胶中入射角  $24.8^\circ$ ),在光刻胶与 Cr 层界面反射率约为 60% (相变约  $143.3^\circ$ ),反射系数,  $|r_s| = 0.78$ ,如果  $C$  小于 0.78,一定的显影时间之后将可能出现光栅线条被摧毁的情况.  $C = 0.65$  情况下,光刻胶内的光强等值面分布如图 6,图中只画出了光强值小于 0.3 的等值面.为了使槽底无残余光刻胶,若光强值大于 0.3 的光刻胶被显影去除,此时光栅线条在最窄处 ( $z = 50$  nm 与  $z = 200$  nm 附近) 即将被摧毁.实际显影过程中,显影液的蚕食作用会使光栅线条的顶部线条更窄,光栅线条高度将不可避免地会损失,结果使得光刻胶光栅的槽深受到限制.因此实验中,应尽可能使曝光双光束强度偏差接近零,从而使  $C$  尽可能等于 1.然而在整个基片上,实际的光强均匀性不可能处处使得  $C = 1$ ,有时局部甚至偏差很大,因此在高反射基底上全息光刻制作周期较小的精细光栅图形时,光栅线条高度很可能因为光强不均匀而被损毁.

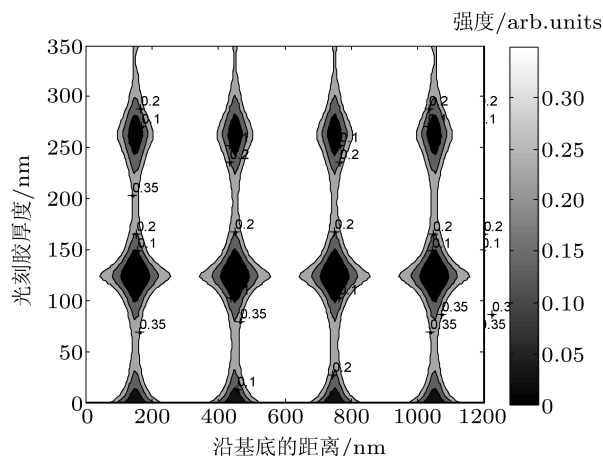


图 6 在镀有 100 nm Cr 层的玻璃基底上制作 300 nm 周期的光刻胶光栅,  $B = 0.65 A$  时光刻胶内光强的等值面分布.光刻胶与 Cr 层界面反射率约为 60% (相变约  $143.3^\circ$ ),图中只保留了光强值低于 0.31 的等值面

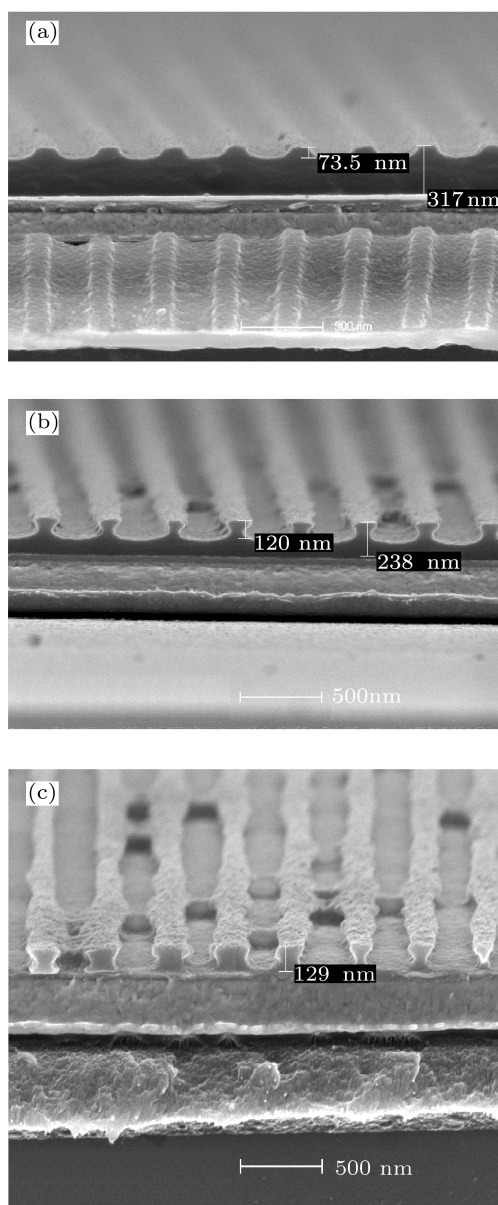


图7 不同的显影时间 (a) 54 s; (b) 255 s; (c) 435 s 显示光栅槽深的变化

图7是相同的基底(Au膜)、相同的曝光量、不同的显影时间获得的400 nm周期的光刻胶光栅图形。图7(a), (b), (c)的显影时间分别是54, 255, 435 s, 这3个时刻对应显影停止在光栅槽中光强的3个驻波节处, 图7(a)中显示原始的光刻胶厚度约317 nm, 槽深约74 nm。当显影突破槽内光强第1个驻波最小并到达第2个驻波最小时, 光刻胶厚度降为240 nm, 槽深120 nm(见图7(b))。胶厚损失大约77 nm, 即图7(a)中的光栅线条已经被显影液溶解而损失。当显影至露出槽底时, 光刻胶厚度等于光栅槽深约为129 nm, 损失110 nm, 即图7(b)中光栅线条已被溶解。

### 3.4 “底膜”现象

图8是在金膜上通过全息光刻制作的光刻胶光栅截面电镜照片。在制作电镜样品时, 靠近断面的光刻胶线条已被扯离基底, 而留下被扯掉的光刻胶线条的“痕迹”, 这表明光刻胶光栅槽底有一层薄膜, 即“底膜”。关于底膜的材料可能有两种: 一是光刻胶, 其形成原因可能是基底的高反射带来的驻波效应, 会在光刻胶与Au基底界面附近(300 nm厚Au层, 光刻胶中入射角 $7.26^\circ$ , 对应 $1\ \mu\text{m}$ 周期的干涉条纹, 反射相变大约为 $114^\circ$ )形成光强的驻波波节, 显影时很难被显影液溶解而留下的光刻胶层; 二是显影液中的悬浮物, 其形成原因是在显影过程中, 基底露出以后, 显影液中的悬浮物粘附在Au基底上而没能漂洗干净。由于在检测上存在困难而不能确定底膜的材料, 因此, 形成底膜的原因有待进一步探索。底膜的存在势必会影响掩模图形的转移, 在实验中通常使用高电压使气体放电形成的等离子对显影后的光刻胶掩模进行“灰化”处理<sup>[12,13]</sup>以清除槽底残余的光刻胶。

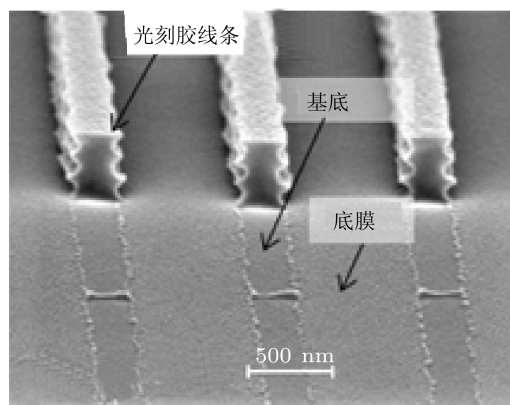


图8 在镀有300 nm厚金层的玻璃基底上经全息光刻制作的光刻胶光栅图形

## 4 减弱驻波效应的方法

光刻胶与基底界面的高反射率带来了严重的驻波效应, 进而使得在高反射率基底上制作占宽比接近0.5且有较大槽深的光刻胶光栅掩模非常困难。因此, 要在高反射率基底上制作较小周期的精细光栅, 需要寻找减弱驻波效应的方法。文献[14]提出使用“后烘”的方法减弱驻波效应, 但效果不明显。本文介绍通过减反射膜(ARC)降低基底反射光强度, 以减弱驻波效应的实验方法。

为了降低光刻胶与基底(如Au)界面的反射率, 在光刻胶与基底之间增加减反(或增透)膜是一个

常用的办法. 减反膜的结构可以是单层膜, 也可以是多层膜. 考虑到光栅制作过程后续的步骤, 膜系结构越简单越好. 本文介绍使用 Brewer Science 公司生产的 XLT 系列减反膜减弱驻波效应.

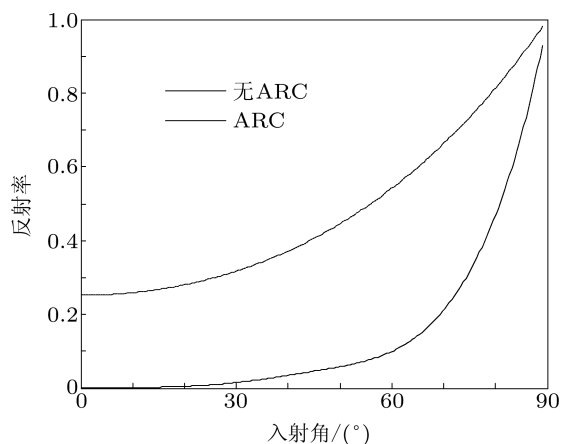


图 9 在镀有 100 nm 厚 Au 膜的玻璃基底与光刻胶之间涂布减反膜之后, 反射率随入射角度变化情况. 入射光波长 441.6 nm, 金的折射率  $1.56 + 1.9i$ , 减反膜的折射率  $1.74 + 0.34i$

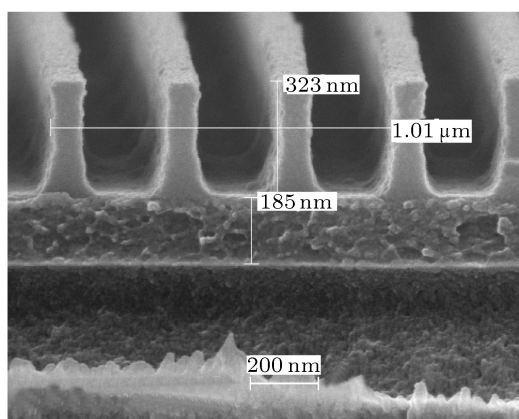


图 10 在镀有金膜的基底与光刻胶之间使用减反膜后, 全息光刻制作的光刻胶光栅掩模. 曝光波长 441.6 nm, 周期 333 nm

图 9 是在 100 nm 厚 Au 膜与光刻胶之间涂布一层厚度为 200 nm 的减反膜前后反射率随入射角的变化曲线, 波长 441.6 nm, Au 的折射率  $1.56 + 1.9i$ , 光刻胶折射率 1.75, 光刻胶内入射角度  $18.4^\circ$ , 对应产生 400 nm 周期干涉条纹. 图 10 是在镀 Au 基底与光刻胶之间使用减反膜后, 全息光刻制作的光刻胶光栅掩模图形, 周期 333 nm, 光栅线条陡直.

## 5 结论

通过计算全息曝光过程中光刻胶内的光强分布, 发现基底的反射带来的驻波效应. 随着基底反射率的增加, 在驻波的波腹与波节处光强之比愈大, 驻波效应愈严重. 严重的驻波效应对所制作的光刻胶光栅的槽形产生严重的影响; 显影后的光刻胶光栅图形占宽比偏小, 光刻结果对入射光束光强偏差要求更加严格. 这些影响使得在高反射率基底上制作占宽比接近 0.5 且有较大槽深的光刻胶光栅掩模非常困难.

随着掩模周期变小, 即线密度的提高, 驻波效应的影响将使曝光条件极为苛刻. 因此, 在制作出高线密度光刻胶光栅掩模的实验中, 发现要么光刻胶厚度损失严重, 要么占宽比非常小, 要么槽形不陡直, 甚至经常找不到合适的曝光条件, 结果很难直接在高反射基底上制作出有较高线密度、高质量光刻胶光栅掩模.

最后, 提出了减弱甚至消除驻波效应的有效途径——降低基底的反射率, 并从实验上尝试了通过涂布减反膜降低基底反射率来减弱驻波的影响, 结果在具有 45% 反射率的金基底上成功制作出周期 300 nm 且侧壁陡直的光刻胶光栅掩模.

- [1] Xu X D, Hong Y L, Fu S J 2004 *Physics* **33** 340 (in Chinese) [徐向东, 洪义麟, 付绍军 2004 物理 **33** 340]
- [2] Zhu X L, Xie C Q, Ye T C, Zhao M, Ma J, Jiang J, Niu J B, Liu M 2007 *Proc. SPIE* **6832** 68320V1-6
- [3] Pelzer R, Lindner P, Glinsner T, Vratzov B, Gourgon C, Landis S, Kettner P, Schaefer C 2004 *Equipment for Electronic Products Manufacturing* **114** 1
- [4] Xu X D 2001 *Ph. D. Dissertation* (Hefei: University of Science and Technology of China) (in Chinese) [徐向东 2001 博士学位论文 (合肥: 中国科学技术大学)]
- [5] Qiu K Q, Xu X D, Liu Y, Hong Y L, Fu S J 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6329 (in Chinese) [邱克强, 徐向东, 刘颖, 洪义麟, 付绍军 2008 物理学报 **57** 6329]
- [6] Zhao J S, Li L F, Wu Z H 2004 *Acta Opt. Sin.* **24** 1285 (in Chinese) [赵劲松, 李立峰, 吴振华 2004 光学学报 **24** 1285]
- [7] Mack C A 1986 *Appl. Opt.* **25** 1958
- [8] Johnson L F 1978 *App. Opt.* **17** 1165
- [9] Liu S J, Du J L, Xiao X, Tang X G, Peng Q J, Liu J L, Guo Y K 2004 *Micronanoelectronic Technol.* **2** 41 (in Chinese) [刘世杰, 杜惊雷, 肖啸, 唐雄贵, 彭钦军, 刘建莉, 郭永康 2004 微纳电子技术 **2** 41]
- [10] Born M, Wolf E 1999 *Principles of Optics* (7th Ed.) (UK: Cambridge University Press) pp342-380
- [11] Weber M J 2003 *Handbook of Optical Materials* (US: CRC Press) pp328-329
- [12] Greer F, Van L, Fraser D, Coburn J W, Graves D B 2002 *J. Vac.*

*Sci. Tech. B* **20** 1901

[13] Xu X D, Hong Y L, Fu S J 2003 *Vac. Sci. Technol.* **23** 362 (in Chinese) [徐向东, 洪义麟, 付绍军 2003 真空科学技术 **23** 362]

[14] Xiao X 2004 *J. Leshan Teachers College* **19** 20 (in Chinese) [肖啸 2004 乐山师范学院学报 **19** 20]

## Standing wave in holographic lithography\*

Qiu Ke-Qiang<sup>†</sup> Liu Zheng-Kun Xu Xiang-Dong<sup>†</sup> Liu Ying  
Hong Yi-Lin Fu Shao-Jun

(National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

(Received 25 January 2011; revised manuscript received 21 March 2011)

### Abstract

The distribution of intensity of incident irradiation in photo-resist during exposure is figured out, and it is shown that the pattern in photo-resist on surface with high reflectivity will suffer standing wave due to the fact that the incidence irradiation interferences with the reflective beam from the photo-resist-substrate interface. The higher the reflectivity, the worse the effect of standing wave is, and it is shown that the standing wave will have adverse effects on the profile and the duty cycle of photo-resist grating and restricts the most groove depth. Inserting a layer of anti-reflection coating (ARC) can minimize the effect of standing wave. Experimental results show that it is a good way to use ARC between photo-resist and substrate to attenuate standing wave.

**Keywords:** holographic lithography, standing wave, anti-reflection coating

**PACS:** 42.40.Eq, 42.40.Kw

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10776030, 10875128).

<sup>†</sup> E-mail: xxd@ustc.edu.cn