

文章编号: 0253-2239(2008)02-0337-07

# 高数值孔径光刻成像中顶层抗反膜的优化

周 远<sup>1,3</sup> 李艳秋<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 中国科学院电工研究所, 北京 100080  
<sup>2</sup> 北京理工大学, 北京 100081  
<sup>3</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘要** 高数值孔径光学光刻中, 成像光分布在较大的入射角范围内, 传统顶层抗反膜优化方法只对垂直光来减小光刻胶上表面反射率, 难以保证光在整个入射角范围实现反射率最小。提出全入射角范围顶层抗反膜优化方法, 即在入射角范围内实现光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面的最小平均反射率, 并优化顶层抗反膜参量。结果表明, 该方法能减小薄膜干涉引起的成像线宽(CD)变化, 有效控制成像摇摆效应, 增大顶层抗反膜透射率, 提高横电和横磁偏振光透射率之比, 从而提高扫描曝光系统的生产率, 进一步改善成像衬比度。

**关键词** 光学光刻; 摇摆线效应; 高数值孔径; 顶层抗反膜

**中图分类号** TN305.8 **文献标识码** A

## Optimization of Topside Antireflective Coatings for Hyper Numerical Aperture Lithography

Zhou Yuan<sup>1,3</sup> Li Yanqiu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Electrical Engineering, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China  
<sup>2</sup> Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China  
<sup>3</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

**Abstract** In hyper numerical aperture (NA) lithography, the incident angle of imaging rays varies in a wide range. Conventional topside antireflective coatings (TARC) optimization methods, minimize the reflectivity only for normal incident light, but are insufficient to suppress the reflectivity in the whole incident angles range of the incoming imaging rays for hyper-NA lithography. A novel TARC optimization method is developed, and the average reflectivity at the resist/TARC/air (or immersion fluid) interface is calculated over the whole range of incident angles that NA determines. Optimal design of TARC structure is carried out to minimize the reflectivity. The results show that, with this method, the thin-film interference effects which cause remarkable line width fluctuation can be reduced, the swing curve effect is controlled, the transmittance of TARC and the ratio of transmittance of TE to that of TM waves are increased, so that the scanner throughput and image contrast, can be improved.

**Key words** optical lithography; swing curve effect; hyper-numerical aperture; topside antireflective coating (TARC)

### 1 引 言

为满足集成电路芯片特征尺寸不断缩小的要求, 必须不断地提高光学光刻的分辨力。缩短曝光光源波长, 增大成像系统的数值孔径 (Numerical

aperture, NA) 是提高光学光刻机分辨力的有效途径, 浸没式光刻技术使光刻系统数值孔径突破了1的限制<sup>[1~3]</sup>。数值孔径的增加, 使射入光刻胶膜层光线的入射角增大, 光刻胶上下界面的反射增强, 引

收稿日期: 2007-05-15; 收到修改稿日期: 2007-09-17

基金项目: 国家自然科学基金(10674134)、教育部长江学者和创新研究团队计划(PCSIRT)及国家 973 计划(2003CB716204)资助课题。

作者简介: 周 远(1976—), 男, 湖南浏阳人, 博士研究生, 主要从事高数值孔径光刻成像等方面的研究。

E-mail: zhouyuan@mail. iee. ac. cn.

导师简介: 李艳秋(1962—), 女, 研究员, 博士生导师, 主要从事光学和微纳技术等方面的研究。

E-mail: liyanq@mail. iee. ac. cn

起更强的薄膜干涉效应(包括驻波效应和摇摆效应),导致成像线条轮廓变形,引起线宽变化,不利于抗蚀剂工艺的成像线宽(CD)控制<sup>[4~6]</sup>。在光刻胶上表面设置顶层抗反膜(Topside antireflective coatings, TARC)可以减小光刻胶上表面的反射,有效抑制成像摇摆效应<sup>[4]</sup>。

传统顶层抗反膜优化方法只针对垂直入射光(其入射角为 $0^\circ$ )来减小光刻胶上表面的反射率<sup>[7, 8]</sup>。而目前的高数值孔径光刻的成像光入射角范围大,仅对垂直入射光来优化顶层抗反膜的光学系数和结构系数是不够的。为此,本文提出一种新的顶层抗反膜优化方法,针对整个入射角范围内的光线对顶层抗反膜进行优化(称为全入射角范围优化方案),在系统数值孔径确定的光线入射角范围内求光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面的平均反射率,确定适合的顶层抗反膜光学和结构参量,使平均反射率最小。

为验证全入射角范围优化方案对反射率的控制及其对成像性能的改善效果,本文针对干法和浸没式光刻成像,采用无吸收顶层抗反膜材料和吸收顶层抗反膜材料优化顶层抗反膜的光学和结构参量,然后利用商业光刻软件 Prolith 研究其对成像性能的改善。

## 2 两种优化方法

传统顶层抗反膜优化方法仅仅针对无吸收膜层材料,优化得到使垂直入射光的反射率为 $0^\circ$ 时对顶层抗反膜的折射率 $n_T$ 和厚度 $d_T$ 解析解为<sup>[7~10]</sup>

$$n_T = \sqrt{n_r n_f}, \quad d_T = \frac{\lambda}{4n_T}, \quad (1)$$

式中 $n_r$ 、 $n_f$ 和 $\lambda$ 分别为光刻胶的折射率、浸没液体(或空气)折射率以及曝光波长。

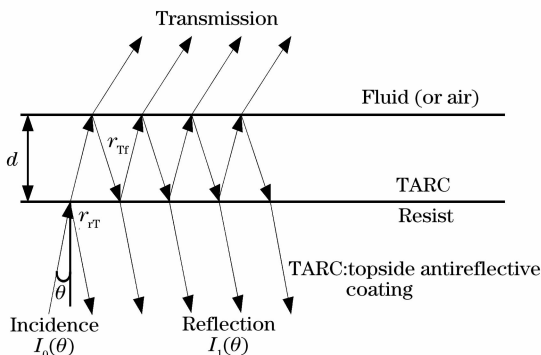


图1 光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面反射  
Fig. 1 Reflection at resist/TARC/air (or fluid) interface

不同于传统方法,全入射角范围顶层抗反膜优化方法针对无吸收膜层材料和吸收膜层材料,在整个入射角范围内实现光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面的最小平均反射率 $\bar{R}$ 。光在光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面上的传播如图1,其反射率 $R$ 与入射角 $\theta$ 的关系为<sup>[11]</sup>

$$R(\theta) = \frac{I_1(\theta)}{I_0(\theta)} = \left| \frac{r_{rT} + r_{Tf} \exp(i2\delta)}{1 + r_{rT} r_{Tf} \exp(i2\delta)} \right|^2, \quad (2)$$

式中 $\theta$ 为入射角, $I_0(\theta)$ 和 $I_1(\theta)$ 为入射光光强和反射光光强, $r_{rT}$ 和 $r_{Tf}$ 分别为光刻胶-顶层抗反膜界面和顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面振幅反射比, $\delta = K_z d$ 为光在顶层抗反膜中的相位延迟, $K_z$ 为顶层抗反膜中光波矢量在垂直与界面方向的分量, $d$ 为顶层抗反膜的厚度。针对吸收和无吸收膜层材料,由(2)式可得到反射率随 $\theta$ 的变化关系。根据系统的数值孔径 $NA$ 可得到光线入射角 $\theta$ 的范围,其中入射角 $\theta$ 的极值

$$\theta_{\max} = \arcsin(NA/n_r). \quad (3)$$

在 $0 \sim \theta_{\max}$ 入射角范围内反射率的平均值

$$\bar{R} = \int_0^{\theta_{\max}} R(\theta) d\theta / \theta_{\max}, \quad (4)$$

根据(2)式~(4)式,通过数值计算优化顶层抗反膜折射率 $n_T$ 和厚度 $d_T$ (对于吸收膜层材料, $n_T$ 为复数),使反射率的平均值 $\bar{R}$ 最小。

全入射角范围顶层抗反膜优化方法综合考虑了所有入射角内参与成像的光线,可以针对无吸收和吸收膜层材料来优化顶层抗反膜的光学参量和结构参量,以改善高数值孔径光刻成像性能。

## 3 优化无吸收顶层抗反膜

针对横电(TE)偏振光成像,优化了顶层抗反膜的参量和结构参量。无吸收膜层材料的折射率为实数,需要优化的顶层抗反膜参量是折射率 $n_T$ 和厚度 $d_T$ 。采用JSR165J型抗蚀剂( $n_r = 1.7135 - i0.016894$ )。对于 $NA = 1.2$ 的浸没式光刻,将 $n_f = 1.44$ 的去离子水作为浸没液体。由(3)式可得到成像光线分布的角度范围为 $0 \sim 44.45^\circ$ ;对于 $NA = 0.93$ 的干法光刻,空气折射率 $n_f = 1.0$ ,成像光线分布的角度范围为 $0 \sim 32.87^\circ$ 。

### 3.1 优化结果

按照全入射角范围优化方法,得到的平均反射率 $\bar{R}$ 随顶层抗反膜的折射率 $n_T$ 和厚度 $d_T$ 的变化关系如图2所示,图2(a)实现 $\bar{R}$ 最小( $\bar{R}_{\min} =$

0.66%)的顶层抗反膜层优化参量为  $n_T = 1.28$ ,  $d_T = 44$  nm。图 2(b)实现  $\bar{R}$  最小( $\bar{R}_{\min} = 0.073\%$ )

的顶层抗反膜层优化参量为  $n_T = 1.57$ ,  $d_T = 37$  nm。

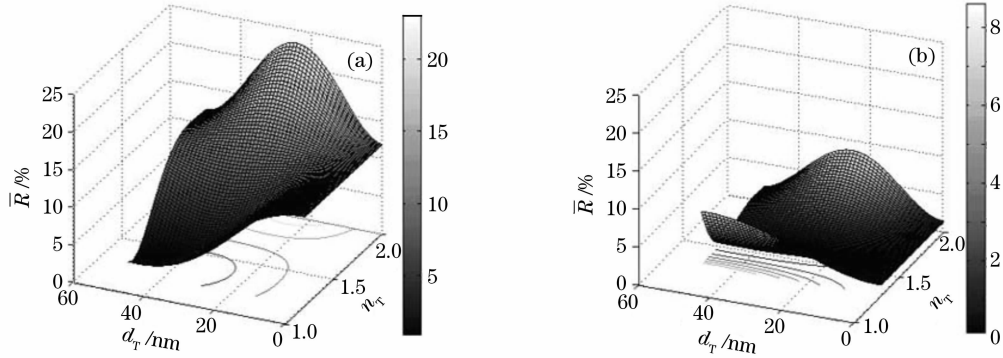


图 2 平均反射率  $\bar{R}$  随顶层抗反膜的折射率和厚度的变化关系. (a) 干法光刻, (b) 浸没光刻

Fig. 2  $\bar{R}$  versus TARC refractivity  $n_T$  and thickness  $d_T$  for (a) dry lithography and (b) immersion lithography

而按传统顶层抗反膜层优化方法,由(1)式可得使垂直入射光的反射率为  $0^\circ$  时对应顶层抗反膜的折射率  $n_T$  和厚度  $d_T$ 。优化干法光刻顶层抗反膜层的参量为  $n_T = 1.309$ ,  $d_T = 36.86$  nm。优化浸没式光刻顶层抗反膜层的参量为  $n_T = 1.571$ ,  $d_T = 30.7$  nm。比较两种方法的优化结果可知,对于干法光刻,全入射角范围优化方法得到的  $n_T$  偏小,而对于浸没光刻,两种方法优化的  $n_T$  值相差不大。

抗反膜后得到的反射率随入射角  $\theta$  的变化关系,  $n$  为抗蚀剂折射率。对于小角度光线,采用传统方法得到的反射率较小,但对于斜入射光线,全入射角方法得到的反射率相对小一些。就整个入射角范围来说,全入射角方法得到的平均反射率是最小的。比较图 3(a)和图 3(b)可知,采用优化的顶层抗反膜后,浸没式光刻对应的反射率要比干法光刻对应的反射率小得多,这是因为相对空气浸没液体的折射率与光刻胶的折射率更匹配。

图 3 为应用两种方法所得的优化结果设置顶层

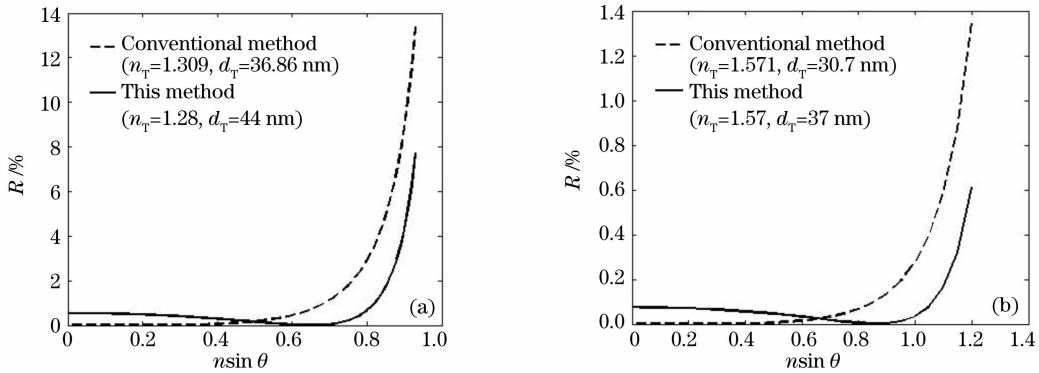


图 3 顶层抗反膜优化后得到的反射率随入射角变化关系. (a) 干法光刻, (b) 浸没光刻

Fig. 3 Reflectivity  $R$  versus incident angle  $\theta$  after the TARC optimization for (a) dry lithography and (b) immersion lithography

### 3.2 对光刻性能的改善

对于高数值孔径光刻成像,采用横电(TE)偏振光可以显著地提高成像衬比度,改善成像质量,扩大工艺窗口<sup>[12, 13]</sup>。对于确定结构参量的顶层抗反膜层,其透射率对不同偏振态的光是不同的。对于非偏振光照明光刻成像,顶层抗反膜对 TE 偏振光和横磁(TM)偏振光的透射率之比将影响到成像性能,这个比值越大,越有利于改善成像质量<sup>[7]</sup>。图 4 展示了两两种优化方法下对应的 TE 偏振光和 TM 偏振光的透射率之比。对大角度光线,全入射角方法

对应的 TE 和 TM 透射率之比都比传统方法大,有利于提高成像的衬比度。

薄膜干涉效应引起了抗蚀剂吸收能量的变化,导致图形线宽(CD)随光刻胶厚度强烈起伏,这就是成像线宽摇摆线。当抗蚀剂厚度变化时,成像线宽随之变化,对成像线宽控制是很不利的。这种效应是由于抗蚀剂上下界面的反射光线在抗蚀剂中发生干涉所引起的,将在光学光刻工艺中加大成像线宽控制的难度<sup>[14]</sup>。可用摇摆率  $S$  来描述摇摆效应的大小,其近似表达式为<sup>[4]</sup>

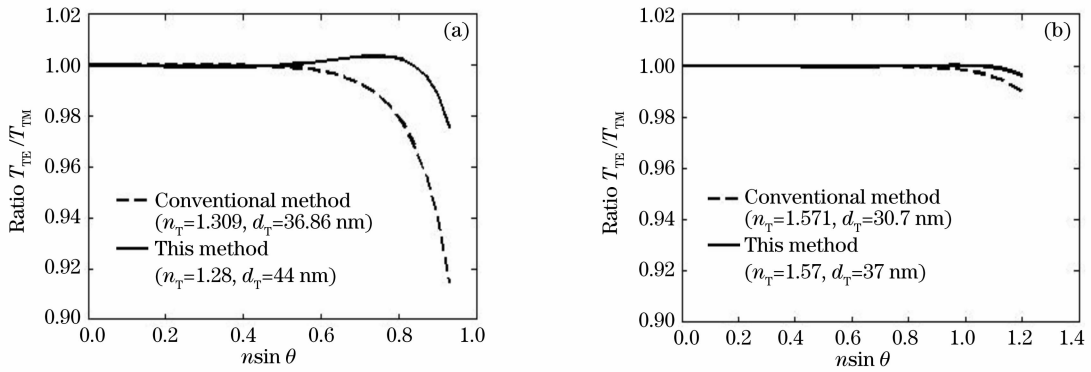


图 4 顶层抗反膜对 TE 偏振光和 TM 偏振光的透射比之比。(a) 干法光刻, (b) 浸没光刻

Fig. 4 Ratio of TARC transmittance for TE waves to that for TM waves for (a) dry lithography and (b) immersion lithography

$$S = 4 \sqrt{R_b R_t} \exp(-\alpha d / \cos \theta_r), \quad (5)$$

式中  $R_b$  为光刻胶-衬底界面反射率,  $R_t$  为光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面反射率,  $\alpha$  为光刻胶吸收率,  $d$  为抗蚀剂厚度,  $\theta_r$  为光刻胶内光线的入射角。由(5)式可知, 光刻胶-顶层抗反膜-空气(或浸没液体)界面反射率越小, 摇摆率越小, 越利于成像线宽工艺的控制。

为比较两种顶层抗反膜优化方法对成像线宽摇摆效应的改善效果, 分别针对干法光刻和浸没光刻, 运用商业光刻软件 Prolith 对线空密集图形进行仿真。仿真针对三种情况: 传统照明结合交替相移掩模 (Alternative phase-shift mask, altPSM); 四极交叉弧状照明 (Cross quasar) 照明结合二元掩模 (Binary mask, BIM); Cross (quasar) 结合衰减相移

掩模 (attenuated phase-shift mask, attPSM), 仿真条件见表 1, BARC 为底层抗反膜 (Bottom antireflective coating),  $\sigma_{in}$ ,  $\sigma_{out}$ ,  $\beta$  分别为内相干因子, 外相干因子和开口角。

图 5(a)为干法光刻对应的成像线宽摇摆线, 其成像线宽摇摆率如表 2。对比无顶层抗反膜和传统方法优化得到的顶层抗反膜, 不管照明和掩模设置如何, 全入射角优化方法得到的成像线宽摇摆效应明显减弱。图 5(b)为浸没光刻对应的成像线宽摇摆线, 无论哪种顶层抗反膜优化方法, 成像线宽摇摆效应都很弱。这是由于浸没液体和光刻胶折射率较匹配, 使光刻胶-顶层抗反膜-浸没液体界面反射率比干法光刻小得多, 摇摆效应也因之减小。

表 1 仿真条件

Table 1 Simulation conditions

Coefficients	Dry lithography			Immersion lithography		
	Quasar BIM	Quasar AttPSM	Conventional AltPSM	Quasar BIM	Quasar AttPSM	Conventional AltPSM
Half-pitch	65 nm	65 nm	65 nm	45 nm	45 nm	45 nm
NA	0.93	0.93	0.93	1.2	1.2	1.2
Polarization	TE	TE	TE	TE	TE	TE
$\sigma_{out}$	0.88	0.88	0.20	0.97	0.97	0.12
$\sigma_{in}$	0.73	0.73		0.82	0.82	
$\beta / (^\circ)$	30	30		30	30	
Resist	1.71-i0.017	1.71-i0.017	1.71-i0.017	1.71-i0.017	1.71-i0.017	1.71-i0.017
BARC	1.47-i0.42	1.47-i0.42i	1.47-i0.42	1.68-i0.13	1.68-i0.13	1.68-i0.13
Substrate	0.88-i2.78	0.88-i2.78	0.88-i2.78	0.88-i2.78	0.88-i2.78	0.88-i2.78

表 2 干法光刻对应的成像线宽摇摆率

Table 2 Critical-dimension swing ratio for dry lithography

	No TARC	Conventional method	Full angle optimization
Convention & altPSM	17.53%	1.37%	0
Cross Quasar & BIM	13.84%	1.08%	0.63%
Cross Quasar & attPSM	9.48%	5.67%	2.99%

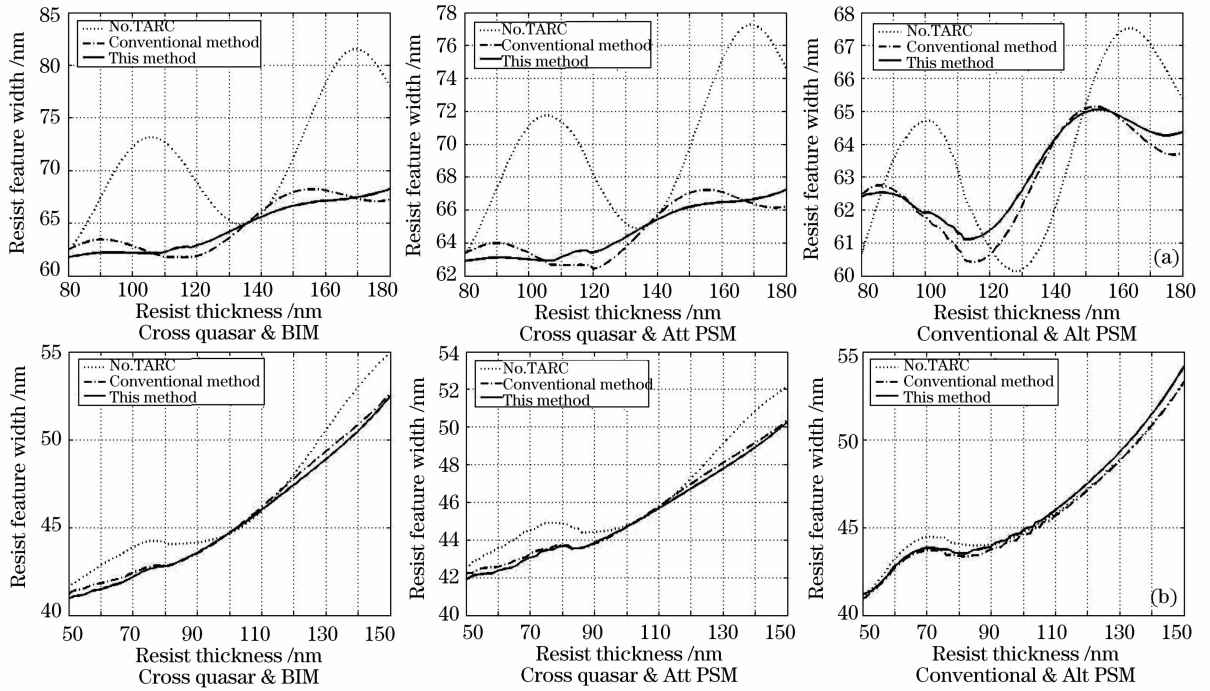


图 5 成像线宽摇摆线。(a) 干法光刻, (b) 浸没光刻

Fig. 5 Critical dimension (CD) swing curve for (a) dry lithography, (b) immersion lithography

### 4 优化吸收顶层抗反膜

分析无吸收膜层材料顶层抗反膜的优化结果可以看出,对于浸没光刻,由于浸没液体折射率与抗蚀剂折射率更加匹配,优化的无吸收顶层抗反膜可使光刻胶-顶层抗反膜-浸没液体界面反射率在较大入射角范围内保持在 1% 以下,TE 偏振光和 TM 偏振光的透射率之比接近 1,成像线宽摇摆效应较弱。但对于高数值孔径干法光刻,则还存在两个问题:即使在顶层抗反膜最优化的情况下,大角度入射光线的光刻胶-顶层抗反膜-浸没液体界面反射率较大(大于 1%);最优化的顶层抗反膜折射率较小(传统方法中  $n_T=1.309$ ,全入射角方法  $n_T=1.28$ ),实

际难于得到这样的无吸收顶层抗反膜材料<sup>[8]</sup>。为此,只针对高数值孔径干法光刻,研究吸收材料顶层抗反膜的优化。

#### 4.1 优化结果

吸收材料对光的吸收特性可通过材料复折射率的虚部(即消光系数  $k$ )来描述。对于不同消光系数的材料,用两种顶层抗反膜优化方法得到的顶层抗反膜实折射率和厚度如图 6 所示。结果表明,对于消光系数越大的材料,两种方案得到的最优化顶层抗反膜实折射率越大,而最优化膜层厚度越小,实际中越容易找到相应材料<sup>[8]</sup>。

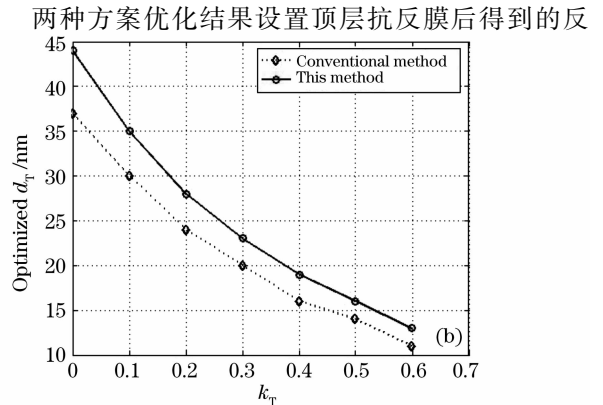
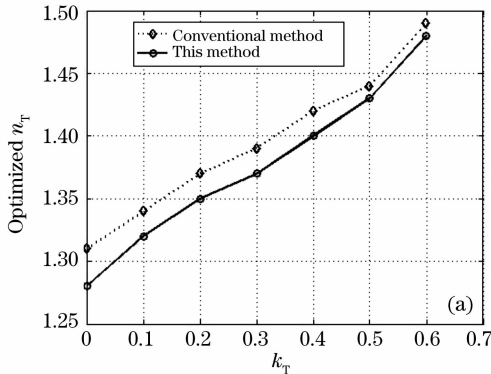


图 6 吸收材料顶层抗反膜的优化结果。(a) 折射率, (b) 厚度

Fig. 6 Optimized results of absorptive TARC. (a) Refraction coefficient, (b) thickness

射率随入射角  $\theta$  变化关系如图 7 所示。对于大入射角光线,全入射角方法得到的反射率相对较小。消光系数  $k$  越大,对应的光刻胶-顶层抗反膜-浸没液

体界面反射率越小。当  $k$  增大到 0.5 以上时,采用全角度顶层抗反膜优化方案,整个入射角范围内光线的反射率都被压制到 1% 以下。

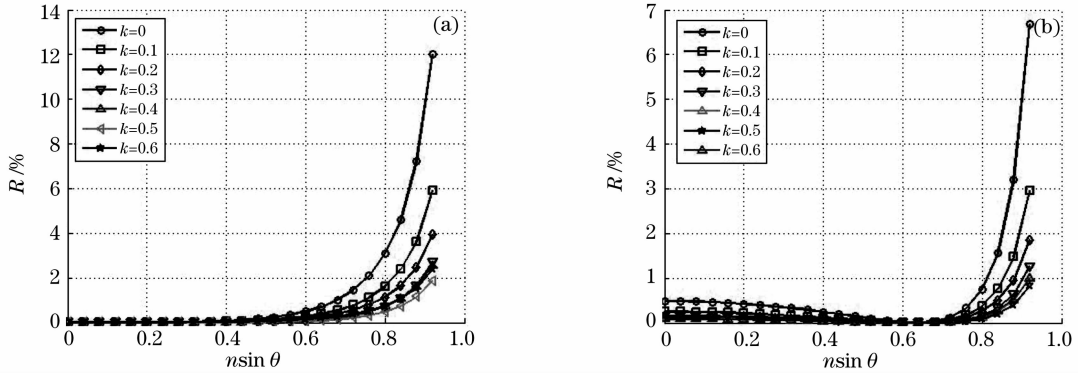


图 7 设置吸收材料顶层抗反膜得到的反射率随入射角变化关系。(a) 传统优化,(b) 全入射角范围优化  
Fig. 7 Relation between reflectivity and incident angle for absorptive TARC. (a) Conventional optimization and, (b) whole-incident-angle-range optimization

### 4.2 对光刻性能的影响

对于吸收型顶层抗反膜,必须考虑光线经过顶层抗反膜时能量的损失,所以有必要研究不同消光系数顶层抗反膜的透射率。采用 TE 波、全入射角顶层抗反膜优化方法得到的顶层抗反膜的透射率随入射角的变化关系如图 8(a) 所示。在对应顶层抗反膜设计下,TE 偏振光和 TM 偏振光的透射率之比随入射角的变化关系,如图 8(b) 所示。结果表

明,消光系数  $k$  越大,光线的入射角越大,顶层抗反膜的透射率越小,TE 偏振光和 TM 偏振光的透射率之比也越小。所以选择吸收材料的,将带来更多能量的损失,在确定的曝光条件下,会影响到扫描光刻机的生产率,不过可以采用感光更敏感的光刻胶来补偿这一损失。因为 TE 和 TM 偏振光的透射率之比减小,成像质量会在一定程度上变差。

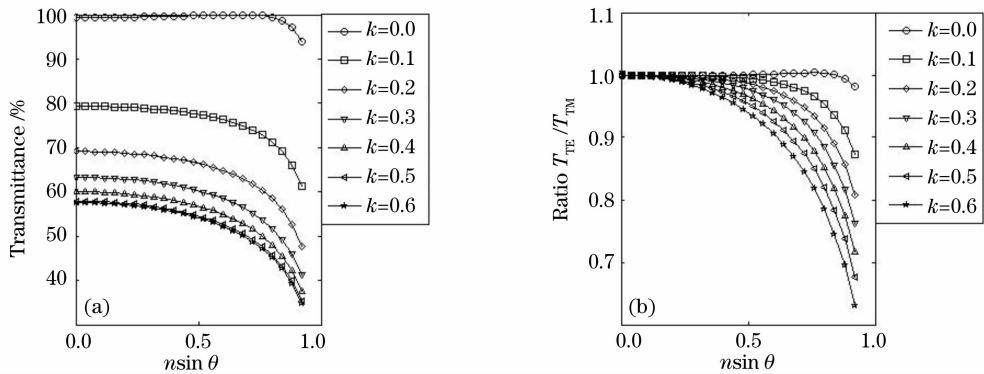


图 8 吸收型顶层抗反膜的透射比(a)以及 TE 和 TM 偏振光透射比之比(b)随入射角的变化曲线  
Fig. 8 For absorptive TARC, (a) transmittance and (b) the ratio of transmittance for TE wave to that for TM wave versus with incident angle

对吸收型顶层抗反膜,为比较两种优化方案对成像线宽摇摆效应的改善效果,针对干法光刻,运用商业光刻软件 Prolith,采用交叉弧状照明结合二元掩模,依照与前面相同的仿真条件,对 L&S 密集线

条形码进行研究。图 9 为成像线宽摇摆线的仿真结果,对比传统优化方案,全角度优化方案得到的成像线宽摇摆效应明显减弱,顶层抗反膜的消光系数越大,对应的成像线宽摇摆效应越弱。

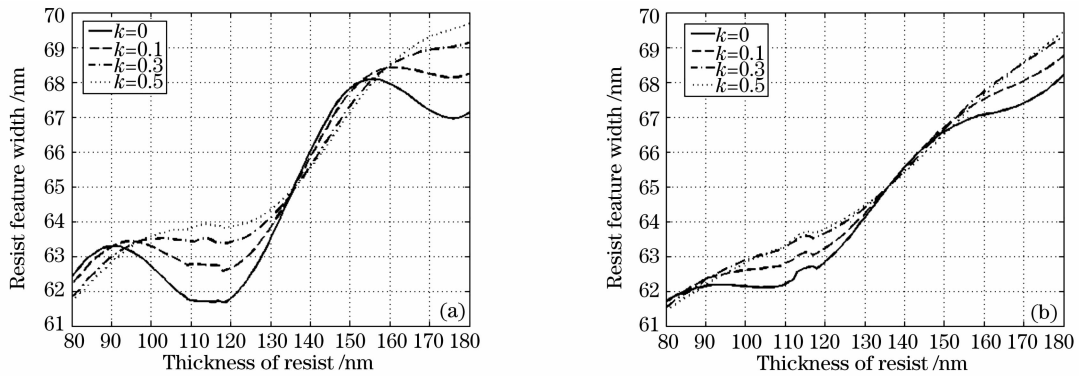


图 9 采用吸收型顶层抗反膜时对应的成像线宽摇摆线。(a) 对应传统优化, (b) 对应全入射角范围优化

Fig. 9 CD swing curve for absorptive TARC. (a) Conventional optimization, (b) whole-incident-angle-range optimization

## 5 结 论

相对传统顶层抗反膜优化方法,全入射角范围优化方法可更大程度地压缩大入射角光线的反射率,使特征线宽摇摆效应进一步减弱。采用全入射角范围优化方法设置,还可增大顶层抗反膜的透射率,减少曝光时间,在确定的曝光条件下提高扫描曝光系统的生产率。另外,全入射角范围优化方法还可提高 TE 和 TM 偏振光透射率之比,改善成像质量。

采用全入射角范围优化方法对吸收型顶层抗反膜优化的结果表明,对于消光系数越大的材料,最优化顶层抗反膜实折射率越大,而最优化膜层厚度越小,实际中越容易找到相应材料。顶层抗反膜材料的消光系数越大,光刻胶-顶层抗反膜-浸没液体界面反射率越小,对应的成像线宽摇摆效应越弱,但顶层抗反膜的透射率越小,TE 偏振光和 TM 偏振光的透射率之比也越小。选择吸收型顶层抗反膜,将带来更多能量的损失,在确定的曝光条件下,会影响到扫描光刻机的生产率,若使用非偏振照明,还会在一定程度上使成像质量变差。

## 参 考 文 献

- Li Yanqiu. The status and tendency of next generation lithography[J]. *Micronanoelectronic Technology*, 2003, 7:116~125  
李艳秋. 下一代曝光(NGL)技术的现状和发展趋势[J]. *微纳电子技术*, 2003, 7: 116~125
- Li Yanqiu. The evolution and a tendency of optical lithography [J]. *Microfabrication Technology*, 2003, (2): 1~5  
李艳秋. 光刻机的演变及今后发展趋势[J]. *微细加工技术*, 2003, (2): 1~5
- Li Yanqiu. Optical performance of extreme-ultraviolet lithography for 50 nm generation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, 24(7): 865~868  
李艳秋. 50 nm 分辨力极端紫外光刻物镜光学性能研究[J]. *光学学报*, 2004, 24(7): 865~868
- T. A. Brunner. Optimization of optical properties of resist processes[C]. *Proc. SPIE*, 1991, 1466: 297~308
- James A. Bruce, Michael Caterer, Dianne Sundling. Thin-film interference effects for thin resist films on a broadband scanner [C]. *Proc. SPIE*, 1998, 3334: 685~691
- Seung-Chul Oh, Young-Cheol Kim, Sang-Hoon Nah *et al.*. Optimizing of thin film interference effects in KrF lithography for 0.15  $\mu\text{m}$  design rules[C]. *Proc. SPIE*, 2000, 3999: 926~934
- Kouchirou Tsujita, Isao Mita. Improvement of deteriorated resolution caused by polarization phenomenon with TARC process[C]. *Proc. SPIE*, 2004, 5377: 80~90
- Wu-Song Huang, William H. Heath, Ranee Kwong *et al.*. New 193 nm Top antireflective coatings for superior swing reduction [C]. *Proc. SPIE*, 2006, 6153: 61530S-1~61530S-8
- Mu Guoguang, Zhan Yuanling. *Optics* [M]. Beijing: People's Education Press, 1979. 216~217  
母国光, 战元令. *光学* [M]. 北京: 人民教育出版社, 1979. 216~217
- Terri Couteau, Michael Carcasi. Topside anti-reflective coating process and productivity improvements on KrF lithography[C]. *Proc. SPIE*, 2006, 6153: 61533H-1~61533H-8
- Shinn-Sheng Yu, Burn J. Lin, Anthony Yen. Thin-film optimization strategy in high numerical aperture optical lithography, part 2: applications to ArF[J]. *J. Microlith., Microfab., Microsyst.*, 2005, 4(4): 043004-1~043004-9
- Bruce W. Smith, Julian Cashmore. Challenges in high NA, polarization, and photoresists[C]. *Proc. SPIE*, 2002, 4691: 11~24
- Guobin Yu, Tingwen Xing, Hanmin Yao. An investigation on capabilities of polarization control for immersion lithography through simulation[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, 3 (suppl.): 198~199
- H. L. Chen, Wonder Fan, T. J. Wang *et al.*. Multi-layer bottom antireflective coating structures for high NA ArF exposure system applications[C]. *Proc. SPIE*, 2002, 4690: 1085~1092