

## BL09A における PMMA レジストの X 線リソグラフィーパターン評価

石地耕太朗, 吉村大介, 岡島敏浩  
九州シンクロトロン光研究センター(SAGA-LS)

シンクロトロン光を用いた X 線リソグラフィーは高解像度・深堀りの微細構造体作製技術であり、SAGA-LS の材料加工・プロセス開発ビームライン BL09A (白色光) で実験可能である。しかし、光源の特性に左右されるため、BL09A での解像度・露光時間・堀深さなどは微細構造体作製にとって重要である。今回、それらの情報を収集するため標準レジストである PMMA を用いて、BL09A で X 線リソグラフィー実験を行い、レジストに転写したパターンを評価した。マスクにはステンレス網目 (200, 400, 795 mesh) を用いた。マスク-レジスト間距離 0.5 mm、露光エネルギー: 0.61, 1.21, 2.12, 3.03, 4.55 J/mm<sup>2</sup> (蓄積電流 100 mA 換算での露光時間: 72, 144, 252, 360, 540 秒) とした。実験の結果、レジスト上にメッシュパターンの転写を確認した。しかし、露光エネルギーの増加に伴い、転写パターンのライン幅は狭くなった。すなわち、解像度が低下した。マスクのライン端の厚みは薄くなっているため透過 X 線の影響は無視できず、マスクのライン幅よりも狭くなると考えられる。それに加えて、フレネル回折と光電子の影響によってさらなる解像度低下が促進していると考えられる<sup>1), 2)</sup>。深さ方向に関して、露光エネルギー (露光時間) と深さについてプロットした。この情報から BL09A における PMMA の深さと露光時間の関係を見積もることができる。本講演では、BL09A における透過 X 線・回折・光電子による PMMA レジストの解像度低下への影響、露光エネルギー (露光時間) と堀深さの関係について述べる。

- 1) N. Atoda, H. Kawakatsu, H. Tanino, S. Ichimura, M. Hirata, and K. Hoh, J. Vac. Sci. & Technol., B1, 1267 (1983).
- 2) T. Ogawa, S. Murayama, K. Mochiji, and E. Takeda, Proc. SPIE 1924, 273 (1993).

# BL09AにおけるPMMAレジストの X線リソグラフィパターン評価

石地耕太郎, 吉村大介, 岡島敏浩: 九州シンクロトロン光研究センター(SAGA-LS)

## 【はじめに】

シンクロトロン光を用いたX線リソグラフィは高解像・深堀りの微細構造体を実現する転写技術であるが、光源の特性に依存する。SAGA-LSのBL09A(材料加工・プロセス開発ビームライン)での転写解像度、堀深さ、露光エネルギーなどの基本情報を調べる必要がある。

▶ BL09Aにおける基本的な情報(露光と転写解像、堀深さの関係など)が必要。

PMMAレジストを用いてBL09A@SAGA-LSでX線リソグラフィ実験を行い、転写解像度、露光と堀深さの関係を評価した。

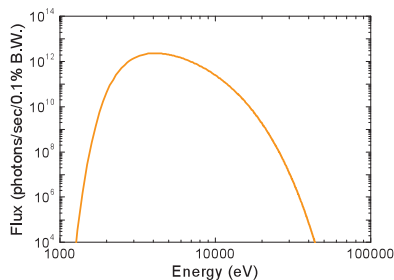


図1 BL09Aのスペクトル(計算)

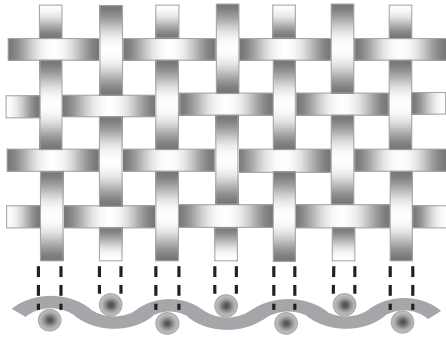
Electron Energy (GeV)	1.4
Beam current (mA)	100
Circumference (m)	75.6
Bending magnet field (T)	1.46
Distance from Source (m)	11
Thickness of Be windows (mm)	0.4
Beam area (mm <sup>2</sup> )	8(V) × 50(H)

表1 計算に用いた主なパラメーター

## 【X線リソグラフィ実験】

### 【実験条件】

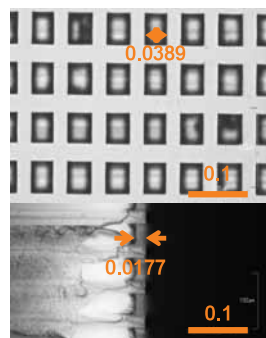
- レジスト: PMMA(ポリメチルメタクリレート)
- マスク: ステンレスワイヤーメッシュ
- レジスト-マスク間ギャップ: 0.5 mm
- 露光エネルギー(露光時間@100 mA換算): 0.61, 1.21, 2.12, 3.03, 4.55 J/mm<sup>2</sup> (72, 144, 252, 360, 540秒)



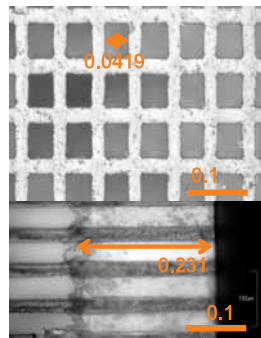
200 meshのライン幅: 0.037 mm, スペース幅: 0.090 mm  
400 meshのライン幅: 0.026 mm, スペース幅: 0.0375 mm

図2 ステンレスメッシュマスク網目構造。  
表と裏を交互に繰り返す(棒針編み構造)。

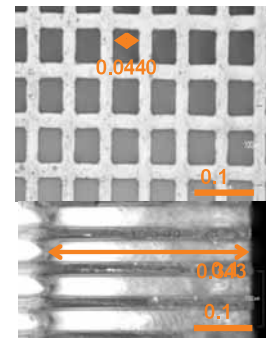
## 【転写パターン観察・評価】



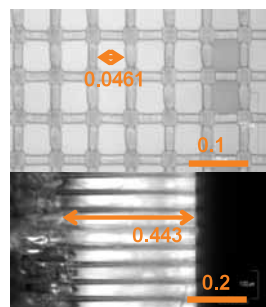
(a) 0.61 J/mm<sup>2</sup>(72秒)



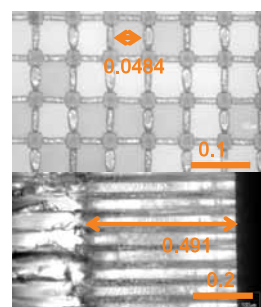
(b) 1.21 J/mm<sup>2</sup>(144秒)



(c) 2.12 J/mm<sup>2</sup>(252秒)



(d) 3.03 J/mm<sup>2</sup>(360秒)



(e) 4.55 J/mm<sup>2</sup>(540秒)

図3 PMMAレジストに転写した400 meshパターン。図中の数値はmm。  
上: 正面図  
下: 側面図

## 【正面図】

メッシュ状の転写パターンが観測されたが、露光エネルギーが増加するにつれて解像度が低下した。

▶ ライン端における透過X線による解像低下だけでなく、フレネル回折・光電子による解像低下が原因。

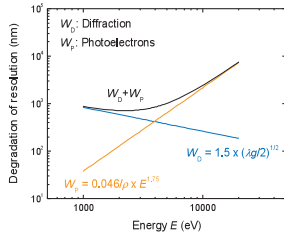


図4 回折と光電子による解像低下のエネルギー依存性

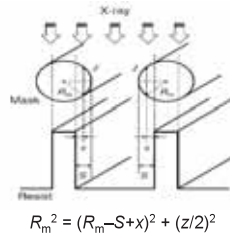


図5 解像度低下の模式図

実験条件から、回折・光電子による解像低下を検討<sup>1-3)</sup> (図4)。また、図5の配置から回折・光電子による寄与を計算。

▶ 回折・光電子による解像低下  $x \approx 1.61 - 1.82 \cdot \exp[-J/3.03]$

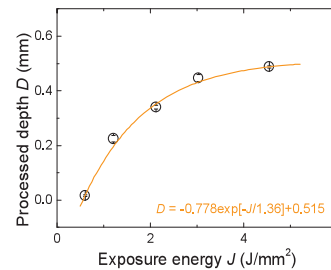


図6 露光エネルギーと堀深さの関係

## 【側面図】

露光エネルギー増加に伴い、堀深さが増加。

▶ PMMAの露光エネルギーと堀深さの関係を調べる。

PMMAの到達深さはKinoshita *et al.*<sup>4)</sup>らの見積りとほぼ同じ。

## 【まとめ】

BL09A@SAGA-LSにおけるPMMAレジストに転写したX線リソグラフィーパターンの解像度・深さ・露光エネルギーに関する知見を得た。

▶ 回折・光電子による解像低下の寄与は近似的に  $x \approx 1.61 - 1.82 \cdot \exp[-J/3.03]$  で示される。

▶ PMMAの露光エネルギーと堀深さの関係は図6で表され、約600秒で0.5 mm程度。

- 1) N. Atoda, H. Kawakatsu, H. Tanino, S. Ichimura, M. Hirata, and K. Hoh, J. Vac. Sci. & Technol., **B1**, 1267 (1983).
- 2) T. Ogawa, S. Murayama, K. Mochiji, and E. Takeda, Proc. SPIE **1924**, 273 (1993).
- 3) 富增多喜夫, シンクロトロン放射技術, 工業調査会, 337 (1990).
- 4) H. Kinoshita, Y. Kimpara, T. Uruga, T. Watanabe, M. Niibe, T. Platonov, and J. L. Wood, Proc. SPIE **3447**, 2 (1998).