

一般セッション(口頭講演) | 7 ビーム応用: 7.3 微細パターン・微細構造形成技術

2024年9月17日(火) 13:30 ~ 16:00 会場 D62 (万代島ビル)

[17p-D62-1~9] 7.3 微細パターン・微細構造形成技術

山本 治朗(日立)、海野 徳幸(東理大)

13:30 ~ 13:45

[17p-D62-1]

水素雰囲気中における高強度EUV照射によるEUVマスク吸収体の評価

○石田 隼登¹、原田 哲男¹、山川 進二¹ (1.兵庫県立大高度研)

◆ 奨励賞エントリー

13:45 ~ 14:00

[17p-D62-2]

主鎖切断型レジストのEUV照射による現像特性評価

○(M1)志賀 竜太¹、山川 進二¹、原田 哲男¹ (1.兵庫県立大工)

◆ 奨励賞エントリー

14:00 ~ 14:15

[17p-D62-3]

EUVレジストにおける反射型軟X線共鳴散乱を用いた凝集構造と感度特性の関係性の検討

○江淵 友梨¹、志賀 竜太¹、山川 進二¹、原田 哲男¹ (1.兵庫県立大学)

14:15 ~ 14:30

[17p-D62-4]

軟X線照射によるPDMS架橋体生成とX線エネルギー依存性

○中川 清子¹、大原 麻希²、横谷 明德²、宇佐美 徳子³ (1.都産技研、2.量研機構、3.高エネ研)

14:30 ~ 14:45

[17p-D62-5]

EUVリソグラフィ用有機無機ハイブリッドレジストのリソグラフィ特性における基礎研究

○山本 洋揮¹、伊藤(筒井) 裕子²、岡本 一将²、古澤 孝弘² (1.量研高崎、2.阪大産研)

◆ 奨励賞エントリー

15:00 ~ 15:15

[17p-D62-6]

知的財産情報からの先端フォトリソの技術遷移特性

○綿引 康介¹、御堂 義博²、岡本 和也^{1,2,3} (1.山口大院、2.大阪大院、3.日本工大院)

15:15 ~ 15:30

[17p-D62-7]

電子ビーム露光による傾斜モールドの作製と転写

○(M1)柴崎 尚也¹、海野 徳幸¹、谷口 淳¹ (1.東理大先進工電子)

◆ 奨励賞エントリー

15:30 ~ 15:45

[17p-D62-8]

ハイブリッドソフトレプリカモールドを用いた残膜レス銀微細配線

○中村 有理¹、谷口 淳¹ (1.東理大先進工)

15:45 ~ 16:00

[17p-D62-9]

形状補正平面レチクルを用いた回転放物面鏡立体面リソグラフィの検討

○堀内 敏行¹、岩崎 順也¹、小林 宏史¹ (1.東京電機大工)

水素雰囲気における高強度 EUV 照射による EUV マスク吸収体の評価

Evaluation of EUV mask absorber durability to high-power EUV irradiation in hydrogen atmosphere

兵庫県立大学 ○(M1)石田 隼登, 山川 進二, 原田 哲男

University of Hyogo, Hayato Ishida, Shinji Yamakawa, Tetsuo Harada

E-mail: ej24a001@guh.u-hyogo.ac.jp

EUV リソグラフィーにおいて EUV 露光機内には、光学系の表面に付着するカーボンコンタミを除去するため、水素を 5 Pa 程度導入している。EUV 励起による水素プラズマによりコンタミは除去されるが、水素プラズマ照射によりマスク吸収体ははがれる水素ブリスタという現象が報告されている。しかし、原因や発生条件が明らかになっていない。NewSUBARU 放射光施設では、高強度 EUV 照射や水素プラズマの影響を評価するための照射装置を開発している。本研究では、吸収体部分への高強度 EUV 照射に伴う EUV 反射率変化を評価し、水素ブリスタ発生条件を検証した。照射サンプルは、TaBO+TaBN 吸収体付きの Mo/Si 多層膜マスクを使用した。EUV 照射量は、 2600 kJ/cm^2 で、ウェハ 40 万枚に相当する照射量である。水素圧力は 70 Pa であり、加速試験のために通常よりも高い圧力を用いた。図 1 に照射による反射率の変化を示す。照射前の反射率は 1.18% で、照射により照射中心近傍は 1.14% 程度に変化した。水素ブリスタによる吸収体剥がれが生じると反射率は上昇するが、今回は生じていない。照射中心近傍の微少な反射率低下は、EUV 照射に起因する表面改質が原因である。そして、照射に伴い照射近傍も含めて吸収体層の反射率が全体的に上昇した。これは、水素プラズマによる表面クリーニング効果である。結論として、計 3 日間でウェハ 40 万枚相当の EUV 露光量を吸収体の一点へ照射したが、水素ブリスタは発生しなかった。したがって、通常の Mo/Si 多層膜上の TaBO+TaBN 吸収体では水素ブリスタは発生しないといえる。

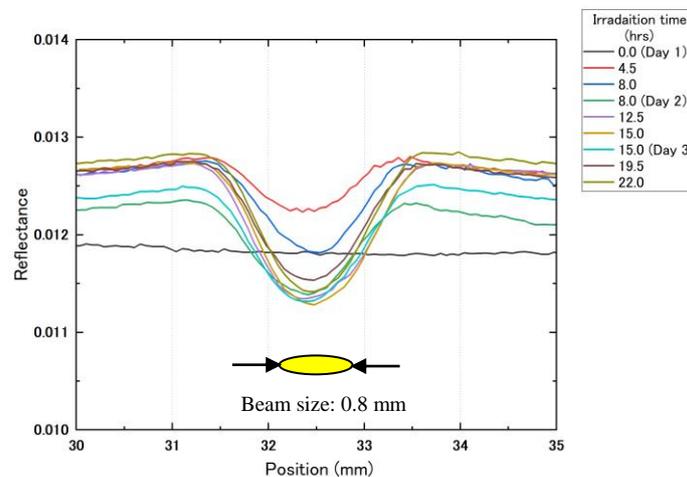


Figure 1: Measurement result of the in-situ reflectance of the absorber during the irradiation.

主鎖切断型レジストの EUV 照射による現像特性評価

EUUV contrast curve measurement of the main chain scission type resists

兵庫県立大学 ○(M1)志賀 竜太, 山川 進二, 原田 哲男

University of Hyogo, Ryuta Shiga, Shinji Yamakawa, Tetsuo Harada

E-mail: s.ymkw@lasti.u-hyogo.ac.jp

レジスト材料の EUV 露光・現像に関する化学現象は未だに解明されていない点があり、感度・解像度・LWR の要求仕様の達成は困難なままである。種々のレジスト材料について EUV 感度曲線を系統的に評価し、EUUV レジストの基礎的な溶解挙動を明らかにする必要がある。本研究では、NewSUBARU 放射光施設のビームライン BL03 に構築された感度測定装置¹⁾を用いて主鎖切断型レジストの EUV 感度測定を実施し、その感度特性に対する初期膜厚および分子量の影響について検討した。初期膜厚の異なるレジスト ZEP520A の感度曲線を Fig. 1 に示す。本測定では、18~100 nm のレジスト薄膜をスピコートにて Si ウエハ上に成膜し、EUUV 露光後、*o*-キシレンにて 60 秒間現像した。現像後の残膜が完全に除去される露光量 E_0 は厚膜の試料ほど大きい傾向にあった。 E_0 と初期膜厚の関係を Fig. 2 に赤丸で示す。赤線は両者の線形近似であり、 $R^2=0.96$ とよく一致した。この傾向の要因として考えられるのは、厚膜ほどレジスト内部で光吸収され、深さ方向の露光強度が低下することである。Fig. 2 の青線は透過率の逆数を表し、レジスト最下層での露光強度の低下を反映するが、 E_0 と透過率の逆数は対応しなかった。そのため、レジスト下層での露光強度の低下だけでなく、基板からの二次電子の供給量の変化も影響することが示唆される。この効果を見積もるには、実際に EUV 露光でのレジスト感度曲線を測定する必要がある。

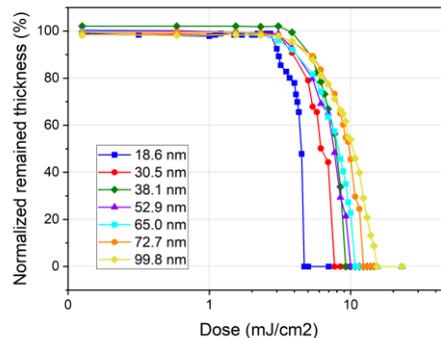


Fig. 1. Contrast curve of ZEP520A

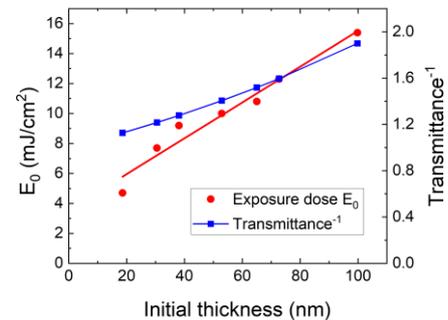


Fig. 2. Relationship between E_0 and initial thickness

さらに、分子量の異なる主鎖切断型レジスト MwL(24K), MwM(49K), MwH(73K)の感度測定を実施した。50 nm 程度のレジスト薄膜をスピコートにて成膜し、EUUV 露光後、アルキル鎖長の異なる酢酸ブチル(C=4)、酢酸アミル(C=5)、酢酸ヘキシル(C=6)にて 60 秒間現像した。アルキル鎖の長い現像液を用いた場合、感度曲線は低感度かつ高コントラストを示した。分子量が最小の MwL が高感度・低コントラストを示し、MwM と MwH は同等の感度曲線を示した¹⁾。本実験については当日の発表にて詳細を述べる。本研究では、プロセス条件の変化に応じて、 E_0 露光量だけでなく曲線形状の変化も生じた。このことから、解像特性の変化も示唆される。様々な条件での EUV 感度評価を実施することが、レジスト溶解挙動の理解において重要である。

1) R. Shiga, S. Yamakawa, T. Harada, T. Watanabe, “Current status of EUV flood exposure tool at NewSUBARU BL03”, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **37**, to be published.

EUV レジストにおける反射型軟 X 線共鳴散乱を用いた凝集構造と感度特性の関係性の検討

Study of the aggregation structure influence in EUV resist sensitivity.

兵庫県立大学, °江渕 友梨, 志賀 竜太, 山川 進二, 原田 哲男

Univ. of Hyogo, °Yuri Ebuchi, Ryuta Siga, Shinji Yamakawa, Tetsuo Harada

E-mail: s.ymkw@lasti.u-hyogo.ac.jp

【背景】半導体微細加工技術の発展には低線幅粗さ(LWR)レジストの開発が不可欠であり、そのためにはナノメートルオーダーの凝集分布評価が必要とされている。当研究室ではこれまでに Si ウエハ上に塗布されたレジスト薄膜について、反射型による軟 X 線共鳴散乱法 (Reflection-mode Resonant Soft X-ray Scattering : RSoXS) による評価を行ってきた。RSoXS 測定では、共鳴散乱を利用することで照射エネルギーに対応した官能基ごとの散乱スペクトルを得ることができる。本研究ではポリマーの分子量の異なる主鎖分解型レジストサンプルを 3 種類 (MwL, MwM, MwH) 使用し、反射型 RSoXS 測定によってそれぞれのサンプルの凝集構造の空間的分布を評価した。加えて、同一サンプルの感度測定を行い、反射型 RSoXS 測定結果から示唆されるレジスト薄膜中の凝集の空間分布とレジストの感度特性の関係性についての検討を行ったので報告する。

【実験】放射光施設 NewSUBARU の BL-10 にて反射型 RSoXS 測定を行った。軟 X 線を斜入射角 5° で照射し、サンプルからの反射光、散乱光を CMOS カメラで検出した。測定チャンバー内の反射型 RSoXS 測定系の概略図を Fig. 1 に示す。得られた反射・散乱光画像から縦軸を散乱強度、横軸を散乱ベクトルに変換してグラフ化した。レジスト薄膜中の散乱体の構造周期 d は散乱ベクトルから求めることができ、構造周期 d は散乱ベクトル q_y が 0.1 nm^{-1} のとき 60 nm となる。また、入射エネルギーは C_k 領域の XAS 測定によって導出した吸収スペクトルから炭素の吸収がほとんどなく、レジスト内部を透過する 280.0 eV を入射エネルギーとして使用した。また、感度測定は同施設内の BL-3 で行った。レジスト薄膜に EUV 光を様々な露光量にて露光を行い、現像処理後に膜厚を測定した。現像後の残膜率が 0% となる露光量 E_0 が感度、 E_0 付近の感度曲線の勾配 (γ 値) がコントラストを表す。

【結果】Fig. 2, Fig. 3 に反射型 RSoXS 測定と感度測定によって得られた結果を示す。散乱強度の高低は対応する構造周期の散乱体の多さを表しており、高いと多く低いと少ないことを示す。つまり、Fig. 2 より MwL は 0.03 nm^{-1} (180 nm) 付近の大きい凝集が少なく、MwH では多いことが示唆された。また、Fig. 3 からコントラストを示す γ 値はそれぞれ 1.38 (MwL), 4.05 (MwM), 4.85 (MwH) となり、分子量が大きいほどコントラストは良くなった。これら 2 つの測定から分子量の大きいレジストサンプルでは大きい凝集の割合が多いことで、感度の低下とコントラストの向上に結び付いたと考える。凝集構造と感度特性の関係性を示唆する結果が得られた。

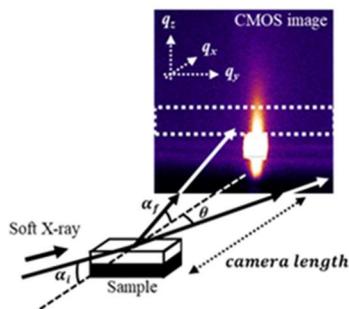


Fig. 1 Geometry of the reflection-mode RSoXS.

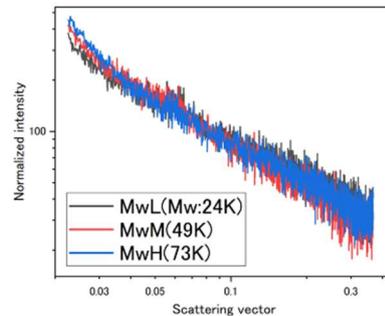


Fig. 2 Scattering spectra of MwL, MwM and MwH at 280.0 eV .

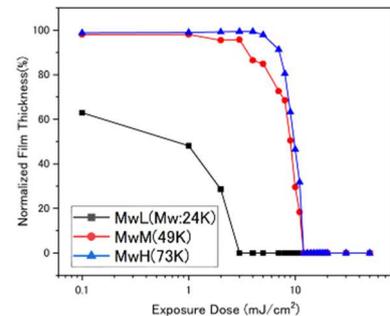


Fig. 3 Sensitivity curve of MwL, MwM and MwH.

軟 X 線照射による PDMS 架橋体生成と X 線エネルギー依存性

Cross-linking of PDMS by irradiation of soft X-rays and dependence of X-ray energy

都産技研¹, 量研機構², 高エネ研³ ○中川 清子¹, 大原 麻希², 横谷 明德², 宇佐美 徳子³

TIRI¹, QST², KEK³, °Seiko Nakagawa¹, Maki Ohara², Akinori Yokoya², Noriko Usami³

E-mail: nakagawa.seiko@iri-tokyo.jp

集積回路の微細化に伴い、リソグラフィー用の光源として、エキシマレーザー光から、極端紫外光～軟 X 線領域の短波長光源が求められるようになってきた。一方、これら短波長光によるエネルギー付与に関する情報は少ない。我々は、ガンマ線の線量評価で利用されているアラニンを用いて、軟 X 線照射によるエネルギー付与を詳細に調べたところ、表面近傍で高密度に生成したラジカルが再結合により消失し、単位線量あたりのラジカル生成量が減少することがわかった¹⁾。これは、軟 X 線照射が、局所的高エネルギー付与であることを示唆し、高分子架橋も効率よく起きると考えられる。そこで、ポリジメチルシロキサン(PDMS)に高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーの BL-27 において、2.5～5 keV の単色 X 線を照射し、架橋体の生成量に対する照射線量、線量率、X 線エネルギーの影響を調べた。

Fig. 1 に、3.5 keV の X 線を照射した時の PDMS 架橋体生成量をプロットする。ガンマ線照射では、25 kGy 以上の線量で架橋体の生成が始まることが知られている。軟 X 線照射では、低線量領域では線量に比例して架橋体が生成し、高線量でサチレーションする。線量に比例した架橋体の生成は、線エネルギー付与(LET)の大きいイオンビーム照射と同じである。低線量率照射の方が低線量域での架橋体生成効率は大きい、サチレーションする線量域では、線量率依存性は明確には確認できなかった。また、PDMS 架橋体生成量の照射 X 線エネルギー依存性を Fig. 2 に示す。X 線のエネルギーが低いほど、低線量でサチレーションすることがわかる。X 線のエネルギーが低いと、透過しない分、表面近傍でのエネルギー付与が大きいことが原因と考えられる。特に、PDMS は 1.84 keV に K 吸収端を持つケイ素を含むため、2.5 keV の X 線照射では、光電子のエネルギーが 1 keV 以下であり局所的高 LET 照射となり、効率的な架橋が起きたと推測される。

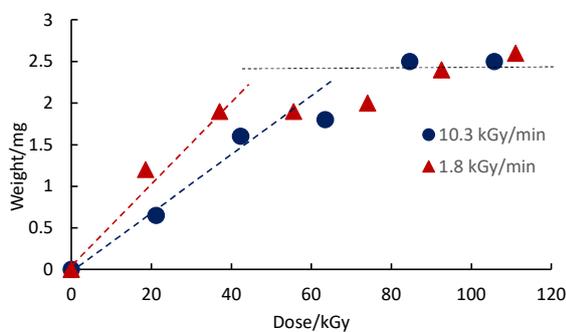


Fig. 1 Cross-linking yield of PDMS by irradiation of 3.5 keV X-rays

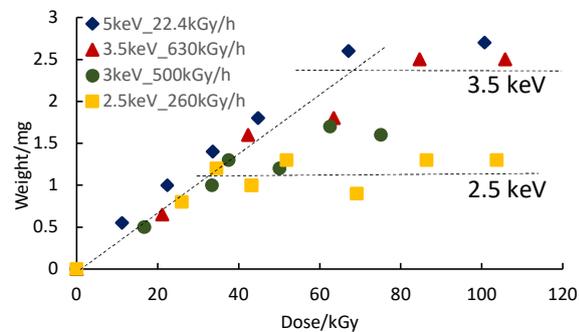


Fig. 2 Dependence of X-ray energy on cross-linking yield of PDMS

参考文献：1) S. Nakagawa et al., Radiat. Phys. Chem., 214, 111304 (2024).

EUV リソグラフィ用有機無機ハイブリッドレジストの リソグラフィ特性における基礎研究

Fundamental Study on Lithographic Characteristics of Organic-Inorganic Hybrid Resists for EUV Lithography

量研高崎¹, 阪大産研² ◯山本 洋揮¹, 伊藤(筒井) 裕子², 岡本 一将², 古澤孝弘²
QST¹, SANKEN, Osaka Univ.²

◯Hiroki Yamamoto¹, Yuko (Tsutsui)Ito², Kazumasa Okamoto², Takahiro Kozawa²

E-mail: yamamoto.hiroki@qst.go.jp

半導体加工技術であるリソグラフィは、コンピューターの更なる高性能化のために必要不可欠な加工ツールである。現在、極端紫外光 (EUV) リソグラフィが実用化されたが、量産ラインにおいて化学増幅型レジストが使用されている。しかしながら、10nm 未満のパターンを加工するのに極めて少ない照射量で、かつ 1 nm 以下の精度で加工することが要求されている。加えて、パターン倒壊に伴う極薄膜化が必要不可欠であるため、十分なエッチング耐性をもつレジストが必要である。それゆえ、メタルレジストなどといった革新的な材料の研究・開発が進められている。本研究では、有機無機ハイブリッドレジストを合成し、リソグラフィの性能評価を行った。

合成した有機無機ハイブリッドレジスト溶液を Si 基板上にスピコートすることで、50 nm の薄膜を形成した。その後、EUV 露光装置で照射し、シクロヘキサノンで現像し、感度曲線を作製した。また、反応イオンエッチングによって合成したレジストのエッチング耐性を調べた。

Fig. 1 は Hf の金属コアおよびリガンドがメタクリル酸 (MMA) からなる有機無機ハイブリッドレジストの EUV による感度曲線である。このレジストの感度はおよそ 3 mJ/cm² であることがわかり、他の以前に合成した Zr と Ti からなる有機無機ハイブリッドレジスト (4 mJ/cm², 5 mJ/cm²) よりも感度が高いことが明らかになった。Fig. 2 は Hf から成る金属コアおよびリガンドが MMA から成る有機無機ハイブリッドレジストの 32 nm の 1:1 のラインアンドスペースパターンの SEM 画像である。100 kV の電子ビーム描画装置を使って微細パターンを試みた結果、Zr と Ti からなる有機無機ハイブリッドレジストに比べて高解像性を示すことが明らかになった。このように、合成した Hf から成る金属コアおよびリガンドが MMA から成る有機無機ハイブリッドレジストは次世代レジスト材料として有望であることが明らかになった。

<謝辞> 本研究の一部は、日本学術振興会の科研費 (21KK0262) の支援を受けて行いました。

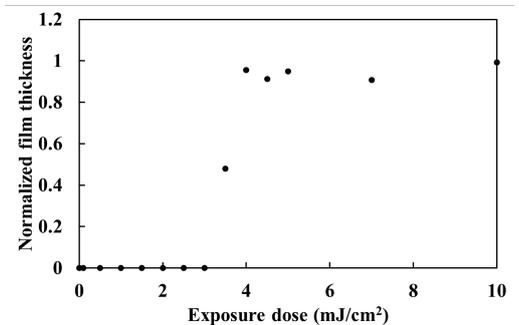


Fig.1. Sensitivity curves of Hf-based organic-inorganic hybrid resists upon exposure to EUV.

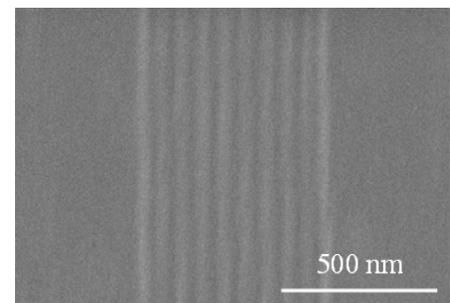


Fig.2. Top-down SEM micrographs of line & space patterns delineated on Hf-based organic-inorganic hybrid resists upon exposure to EB.

知的財産情報からの先端フォトレジストの技術遷移特性

Technology Transition Characteristics of Advanced Photoresist from IP Information

山口大院¹, 大阪大院², 日本工大院³ °綿引康介¹, 御堂義博², 岡本和也^{1,2,3}

Yamaguchi University¹, Osaka University², Nippon Institute of Technology³

°Kosuke Watahiki¹, Yoshihiro Midoh², Kazuya Okamoto^{1,2,3}

E-mail: c008wew@yamaguchi-u.ac.jp

1. はじめに

先端半導体はその達成指標として PPAC (Power-Performance-Area-Cost) を掲げているが、微細化が“More Moore”の概念のもと依然として重要な位置づけにあり、そのコスト支配因子はフォトリソグラフィ工程にある。縮小投影露光方式は「Rayleigh の式」に基づく 2 点間分離・光学解像度から成立し、2008 年以降は ArF 液浸露光装置単体の解像度限界値 38nm ($k_1=0.265$, NA=1.35, $\lambda=193\text{nm}$) で固定され多重露光の時代を迎え、2020 年頃より EUVL ($\lambda=13.5\text{nm}$) が量産対応に至っている。その基盤材料であるフォトレジストの市場規模は 2.5 b 米ドル (2026 年予測) と延伸し、産業的価値を有することから研究開発の主軸は企業にあり、知的財産情報からの当該技術変遷の社会科学的視座からの究明は日本の産業競争力を維持するうえで意義を有する。

2. 研究方法

当該メタ情報として適用した 3 つの File Index (FI), G03F7/038_601 (化学増幅機構を有するネガ型レジスト), G03F7/039_601 (同ポジ型レジスト), G03F7/004 (感光材料) で特許の基礎出願日 (基準日) が 1990 年 1 月 1 日以降の国内特許 11,749 件を抽出した。特許出願と事業収益性の時系列変動, AI/NLP (BERT) による視認可能な情報開示特性について検討し^[1], ここでは、露光光源波長毎の特許分類や出願基準年等を活用し EUVL レジスト (EUV-R) の技術変遷に注視した。

3. 結果と考察

売上高と出願件数の移動平均の相関係数により各種レジストの研究開発転換が見出され、特許明細書要約の文書クラスタ解析からは権利化に向けた特徴的な開示特性が得られた。次に、抽出した特許群に対し露光光源波長が ArF と EUV である特許分類 F タームを用い、各波長レジスト (R) の累積出願件数推移とロジス

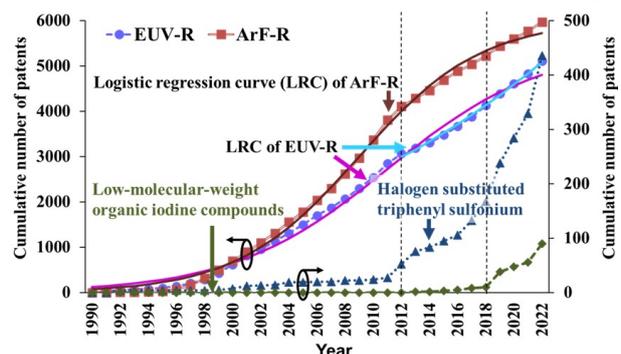


Fig. 1. Analysis of EUV-R patents in F-terms. (Database : CyberPatent Desk)

ティック回帰及び EUV-R で近年累積出願件数が急伸している特許分類を Fig.1 に示す。曲線が緩やかになる ArF-R と比較して EUV-R の回帰曲線は 2012 年頃に変曲点を示す。これは EUV 光源出力の大幅な増大に伴う量産適用を示唆し、かつハロゲンやヨウ素の特許分類の累積出願件数の急増時期とも符合する。このことは当該業界の SDGs/ESG への対応を示唆する結果と推察され、今後の研究開発動向の予測に一定の指針を与える。

参考文献 : [1] 綿引康介, 御堂義博, 岡本和也 : 日本経営システム学会誌, 40(3) (2024) 227.

電子ビーム露光による傾斜モールドの作製と転写

Slanted mold fabrication by electron beam lithography and replication with fabricated mold

東京理科大学¹ ○(M1)柴崎 尚也¹, 海野 徳幸¹, 谷口 淳¹

Tokyo University of Science¹, ¹Shibasaki Naoya¹, Noriyuki Unno, Jun Taniguchi¹

E-mail: 8124526@ed.tus.ac.jp

1. 緒論

近年、急速な通信技術と電子デバイスの進化は私たちの生活を豊かにしている。中でもARとVRといったヘッドマウントディスプレイは3D表示による次世代インタラクティブディスプレイである[1]。そのデバイスには回折格子が用いられている。図1に代表的な回折格子を示している。

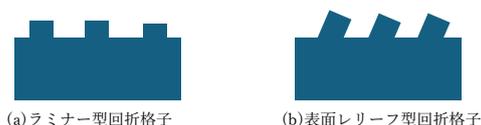


図1 代表的な回折格子

しかし、図1(b)を作成するのはフォトリソグラフィで図1(a)を作製した後、反応性イオンエッチング(RIE)の工程が必要となる[2]。そこで本研究では2つの工程をまとめて1回の工程で得られるよう試料を傾けて電子ビーム露光(Electron Beam Lithography: EBL)によるパターンニングをし、それをモールドとして用いてUVナノインプリントリソグラフィ(UV-NIL)で転写したので報告する。

2. 実験方法

電子ビームレジストはZEP520A(日本ゼオン(株))を用いた。このレジストをスピコートで4000 rpm, 400 秒の条件で実験を行ったものを1回目は80 °C, 360 秒で2回目は120 °C, 20 分でベイクをした。次に接触式段差計αステップ(KLA-Tencor Japan社製)で膜厚を計測した。次に走査型電子顕微鏡(SEM: ERA-880FE, ELIONIX社製)で加速電圧4 kV, Dose量が20 μC/cm², 幅180 nm, 間隔幅270 nm, 長さ90 μmでの線状パターンを描画した。この時、試料は45°の試料台上に乗せて傾けた状態で描画をした。そしてZED-N50(日本ゼオン(株)製)で30秒現像し、2-プロパノールでリンスをした。離型処理を行うのにプラチナコーティングを施し、防汚コーティング剤であるオプツールDSX(ダイキン工業(株)製)に3時間浸潤し、120 °C, 5分ベイク、そしてNovac7200(3Mジャパン社製)で1分間リンスを行いました。このモールドに対してPAK-01CLを1滴落とし、コスモシャインA4300(東洋紡(株)製)を被せUV-NILを行った。最後にモールドの一部をとったものとNILしたものでプラチナコーティングを行うことで走査型電子顕微鏡(SEM: ERA-880FE, ELIONIX社製)で観察を行った。

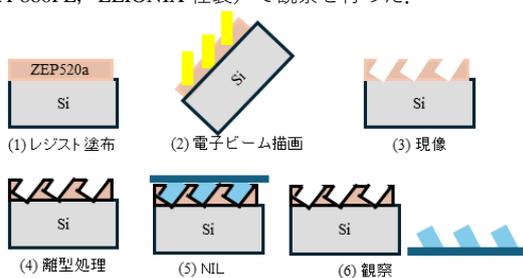
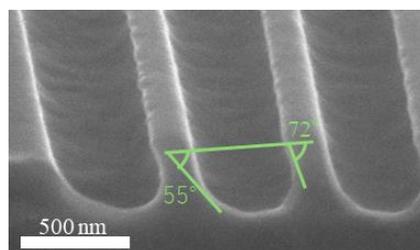


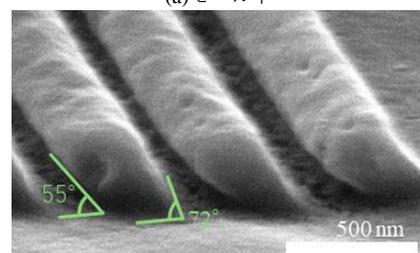
図2 実験概要図

3. 実験結果

SEMで観察した結果、Dose量20μC/cm²の時、図3のようになった。



(a)モールド



(b)転写

図3 斜めの描画のモールドと転写のSEM画像

作製したモールドは斜めに抜けていることが図3(a)から見取れる。また、転写した図である図3(b)からも傾いていることが分かる。このことから目的の構造である図1(b)を得られたと言える。しかし、図3(a)の緑の線に注目すると左右の傾きが異なっていることが分かる。傾きが大きい方は72°、小さい方は55°となっている。これは45°よりも垂直に近い角度になっており、左右で角度の大きさが異なっている。誤差が生じた要因は、低加速度の電子ビームの前方散乱によるものが大きいと考えられ、左右の角度の違いについてはレジスト内に侵入する深さが異なるため、侵入が深いほうが大きい誤差と考えられる。

4. まとめ

ZEP520aのレジストで試料を45°傾かせた状態で低加速電子線描画をすることにより表面レリーフ型回折格子を作成することができた。今後、前方散乱の影響の抑制と様々な条件による試料の作製を目指していく。

参考文献

- [1] Zhitian Shi, Konstantins Jefimovs, Antonino La Magna, Marco Stampanoni, Lucia Romano, "High aspect ratio tilted gratings through local electronic field modulation in plasma etching", Applied Surface Science, 2022, vol 588, 30 June 2022, 152938, pp 1
- [2] Tapani Levola, Pasi laakkonen, "Replicated slanted gratings with a high refractive index material for in and outcoupling of light", 2007 Optical Society of America, 2007, Vol.15, No.5, pp 5-7

ハイブリッドソフトレプリカモールドを用いた残膜レス銀微細配線

Hybrid soft replica mold for fine Ag wiring without a residual layer

東京理科大学 ◦中村 有理, 谷口 淳

Tokyo University of Science, ◦Yuri Nakamura, Jun Taniguchi

E-mail: 8123527@ed.tus.ac.jp

1. 緒論

センサやフレキシブルディスプレイなどの電子デバイスの小型化・高機能化に伴い、金属配線の微細化が求められている。通常、 $10\ \mu\text{m}$ 以下の配線は、スパッタや蒸着により薄膜を形成した後、リソグラフィとエッチングにより形成される。この手法は、高解像度で精細なパターンニングが可能であるという利点がある。一方で、真空環境や大型装置を必要とするため、製造タイムやコストが増加するという欠点があり、スパッタレス、マスクレスの技術が求められている [1]。そこで、本研究では感光性導電ペーストを用いて、真空環境を不要とするナノインプリント (NIL) で $5\ \mu\text{m}$ 以下の微細配線形成を試みた。信頼性の高い配線を形成するためには、隣接する線を独立させる必要がある。しかし、NIL 工程中、一つ一つの線の間を接続させる残膜とよばれる余剰層が発生し、取り除くことが難しい [2]。そこで、レプリカモールドの凸部に選択的に遮光層を形成することで、下部の感光性導電ペーストの硬化を防ぎ、現像を行い独立したパターンを実現させた。本報では、導電性を有した $5\ \mu\text{m}$ 以下で高アスペクト比なパターンニングのプロセスについて報告する。

2. 実験方法

初めに、ハイブリッドソフトレプリカモールド (HSRM) の作製方法を図 1 に示す。まず、Si マスターモールド (L/S 幅: $5\ \mu\text{m}$, ピッチ: $15\ \mu\text{m}$) に銀インク (Smart Screen, GenesInk Inc.) を充填させた (図 1(a))。スクージ後に 150°C 5 分で焼成することにより、上部と底部の銀を分離させた (図 1(b))。これは、銀インクの溶媒の蒸発により体積が収縮することに起因する。その後、PET フィルム (PET-6010, C.I. Takiron Co.) をマスターモールドに被せ、 85°C 5 分熱を与えることで、上部に残った銀を除去した (図 1(c))。最後に、UV 硬化樹脂 (PARQIT OEX-028-X433-3, Autex Co., Ltd.) で転写を行い、底部に残留した銀を掬い取った (図 1(d))。以上の工程によって、凸部のみに金属の遮光層を有した HSRM を得た (図 1(e))。このレプリカモールドの離型処理には、 85°C 30 分の加熱と、液相処理 (OPTOOL DSX, Daikin Industries, Ltd.) を用いた。

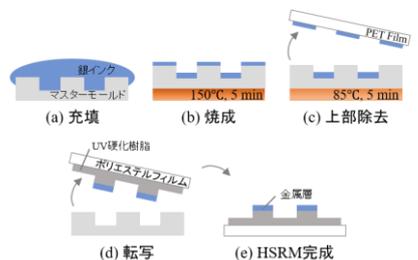


図 1. Hybrid Soft Replica Mold の作製方法の概略図

次に、HSRM を用いて、感光性導電ペーストを用いた L/S パターンの作製方法を図 2 に示す。まず、HSRM に感光性導電ペースト (LCAG-140K2, Toray Industries, Inc.) を充填させた (図 2(a))。次に、スクージをすることで余剰なペーストを取り除いた (図 2(b))。その後、転写基板に HSRM を載せ、 $300\ \text{N}$ で加圧を行いながら UV を照射した (図 2(c))。この時、レプリカモールドの凸部分の下部に在るペーストの硬化を防

ぐため、レプリカモールド側から照射を行った。離型後、 Na_2CO_3 溶液を用いて現像を行い、未硬化のペーストを取り除いた (図 2(d))。最後に、 140°C 30 分熱を与えることで、感光性導電ペーストに含まれる金属微粒子同士を焼結させ、硬化させた (図 2(e))。

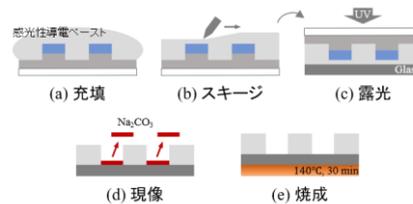


図 2. 微細配線形成方法の概略図

3. 実験結果

凸部に遮光層を有す HSRM を、走査型顕微鏡 (SEM) で斜め観察した結果を図 3(a), (b) に示す。図 3(b) より、L/S パターンの凸部に薄膜が確認できた。また、薄膜部の下部には樹脂によって作成されたパターンがみられた。したがって、薄膜は銀インクによって作製された遮光層であることがわかる。幅は $5\ \mu\text{m}$ 、高さは $5\ \mu\text{m}$ であった。

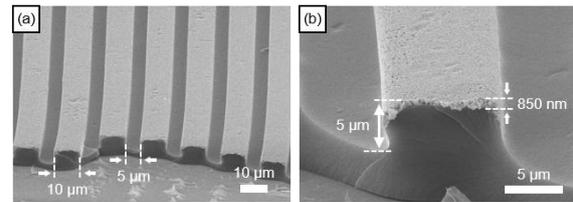


図 3. Hybrid Soft Replica Mold の SEM 観察結果

HSRM を用いて形成された微細配線の SEM 斜め観察結果を図 4(a), (b) に示す。凸の Line 構造が見られ、図 4(b) に示す通りパターン間に残膜は確認されなかった。したがって、隣接するパターンは独立しているとわかる。幅は $4.8\ \mu\text{m}$ 、高さは $6.5\ \mu\text{m}$ であった。HSRM と比較して高さが 1.3 倍となっている要因は、残膜層の厚みによるものであると考えられる。

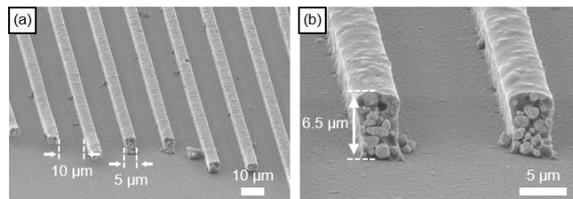


図 4. 感光性導電ペーストを用いたパターンの SEM 観察結果

4. まとめ

感光性導電ペーストを用いて、 $5\ \mu\text{m}$ 以下で高アスペクト比な微細配線を形成することができた。本手法は、微細金属配線の高効率化に役立つと期待される。

参考文献

- [1] A. C. Arias, J.D. MacKenzie, I. McCulloch, J. Rivnay and A. Salleo, *Chem. Rev.*, **100** (2010), 3-24.
 [2] V. R. Kolli, C. Woidt, and H. Hillmer, *Microelectron. Eng.*, **149** (2016) 159.

形状補正平面レチクルを用いた回転放物面鏡立体面リソグラフィの検討

Stereophonic Lithography Using Paraboloid Mirrors and a Compensated Flat Reticle

東京電機大学 ○堀内敏行, 岩崎順哉, 小林宏史

Tokyo Denki Univ., ○Toshiyuki Horiuchi, Jun-ya Iwasaki, Hiroshi Kobayashi

E-mail: horiuchi@cck.dendai.ac.jp

1. まえがき

回転放物面鏡を上下に対向配置した光学系を用いて、緩い任意曲面上に数 10~数 100 μm 線幅の大パターンを転写する立体面リソグラフィを検討して来た。本報では、パターン形状を補正した平面レチクルを用いて、曲面上に所望のパターンを形成できるかを検討した。

2. これ迄の経緯と課題

当初、被露光面と同じ形状の曲面レチクルを用いてパターン形成が可能であることを実証した。しかし、光学系と一方向からの平行照明に起因して投影パターンが歪むことが分かった¹⁾。一方、任意の曲面レチクルを製作するツールや受託業者は存在しないため、曲面レチクルの使用は技術の適用性を著しく阻害すると考えられた。そこで、平面レチクルを試用した結果、形状は歪むが、被露光面の凹凸が数 mm 以下であれば、パターン転写は可能であることが分かった²⁾。一方、上ミラー開口面に投影されるパターン像形状を計算した結果、実際のパターン形状と良く合致した。そして、レチクルパターンを補正すれば、上ミラー開口に置いた Si ウェハに所望のパターンを転写できた³⁾。

3. 曲面試料上への投影像の計算

上ミラーの開口に目標形状の正方格子像を形成できるようにしたことは、投影光学系起因の歪を補正したことに相当する。試料曲面上に目標形状の正方格子像を形成するには、さらに、試料曲面の形状と高さ位置に対応して生ずる歪を補正する必要がある。そこで、まず、上ミラーの開口に目標の正方格子像を形成できるレチクルで図 1 に示す最大凹み 6.0 mm の試料スプーン凹面へ投影するときの像の形状を計算し、実測値と比較した。結果を図 2 に示す。計算値は実際とよく合致した。

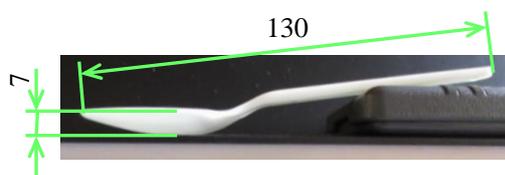


Fig. 1. Side view of the plastic spoon.

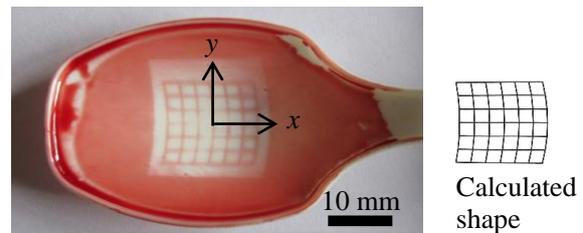


Fig. 2. Comparison of resist patterns and calculated lattice patterns before the curvature compensation.

4. 正方格子を目標とするレチクル補正と効果

レチクルの格子点の初期値 (x_r, y_r) を図 2 の計算に用いた値とし、その投影位置 (x_p, y_p) と目標位置 (x_t, y_t) との比率 $x_p/x_t, y_p/y_t$ により、レチクルの格子点を $x'_r = x_r / (x_p/x_t), y'_r = y_r / (y_p/y_t)$ に補正することを繰り返した。なお、 $x_t=0$ (y 軸) の格子点は、 $x'_r = x_r - (x_p - x_t)$ と補正した。計算上、スプーン凹面への投影点が 2mm ピッチ、12mm 角の正方格子となるレチクルを設計して転写した結果を図 3 に示す。目標形状にレジストパターンを形成でき、補正計算の適切性も示せた。

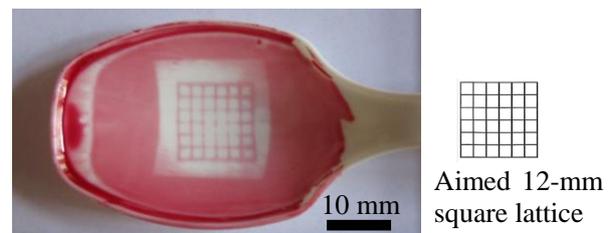


Fig. 3. Resist patterns with aimed shapes printed using a flat reticle with compensated patterns.

5. まとめ

パターンの形状を補正した平面レチクルを用いれば、曲面試料上に所望の形状のパターンを転写できることを実証できた。

本研究の一部はジェイアイエンジニアリングとの共同研究資金および湘南インスツルメンツからの研究奨励寄付金により行った。

- 1) T. Horiuchi et al.: JJAP, **62**, SG1026 (2023).
- 2) 堀内敏行, 小林宏史: 第 70 回応物春季学術講演会, 15a-D209-5, 06-005 (2023).
- 3) T. Horiuchi et al.: JJAP, **63**, 03SP92 (2024).