

NGL ワークショップ 2019 報告

会議全体

次世代リソグラフィ技術研究会では、7月4、5日の二日間、シリコンテクノロジー分科会、極限ナノ造形・構造物性研究会および日本学術振興会「荷電ビームの工業への応用」第132委員会の協賛のもと、恒例の次世代リソグラフィワークショップを東工大蔵前会館で開催しました。300名を超える参加者にご来場いただき、例年通り大変盛況なワークショップとなりました。口頭発表は25件で、ポスター発表は30件発表頂きました。

各セッションを担当した企画委員が報告書を作成しましたので以下にご紹介いたします。

Plenary Presentations

基調講演を3件発表頂いた。1件目は富士通総研 金氏より「中国製造 2025 の行方」と題して、在来製造業の高度化と第4次産業革命への対応という2つの側面を持つ中国の産業政策についてご講演頂いた。基盤技術がないと、他国におさえられるという危機感が中国製造 2025 という製作の根本にあると説明頂いた。2件目に、東芝メモリー（現キオクシア）の橋本氏より、「半導体ストレージの未来を拓くプロセス技術」について講演頂いた。3次元メモリのメモリホールのエッチング技術・計測技術、新規メモリ技術の開発からナノインプリントリソグラフィーについて幅広く先端の内容を紹介頂いた。3件目に長瀬産業の折井氏から「AI/IoT 時代における能型デバイスのパッケージング技術」について講演頂いた。超巨大データの時代において AI がなぜ必要なのかから、脳型デバイスの研究紹介に始まり、長瀬産業でのマテリアルインフォマティクスの取り組みまで紹介頂いた。

Optical Lithography & Advanced Patterning Technology

光リソ関連で、4件のオーラルプレゼンテーションがあった。最先端リソは EUV に注目が集まるが、現場レベルでは光リソは非常に重要な技術で、様々な工夫をしてパターンニング性能の向上が日々続けられている。

ニコンの金究氏はレチクルが露光装置に投入されると自動的に、照明条件や、レチクルの回折パターンに応じた熱収差を予測し、熱収差制御パラメータを最適化する技術を報告した。自動化することで、実効的な露光装置の稼働率を向上することになる。ギガフォトン 石田氏は次世代液浸露光光源「GT65A」の紹介を行った。レーザー光源性能の向上、安定化だけでなく、メンテナンスコストの削減も重要な課題であることに言及している。また、東芝メモリの松縄氏は実プロセスでの干渉マップを使った危険パターン検出、日立の中田氏は光学モニタシステムを用いた強化学習によるエッチング条件最適化について紹介した。それぞれ、強化学習についてコメントをしているが、すべての分野で強化学習が効果的ということではなく、あくまでも本質的には内挿計算をしているということを認識したうえ

で使っていくべきというコメントに納得した。

Fritz Zernike Award Memorial

ASLC 鈴木氏の SPIE Fritz Zernike Award in Microlithography 受賞の記念講演を頂いた。講演タイトルは「EUV はいかにしてリソグラフィになった？か。露光装置の歴史より」である。最初のリソグラフィ装置である Perkin Elmer の装置から歴史をひもとき、Zernike による収差の定式化から EUV リソグラフィまでを紹介頂いた。鈴木氏には NGL 研究会の定例研究会で「毎回」EUV リソグラフィの開発状況について報告いただいております、今回も鋭く Stochastic 効果の要因などについて指摘頂いた。

Directed Self Assembly (DSA) and Resist Materials

材料分野は、最近のトピックである確率統計効果により発生する欠陥 (Stochastic effect) で、DSA、レジストからそれぞれ 1 件、新規材料で、それぞれ 1 件の計 4 件で口頭発表が構成され、ポスターセッションは、Stochastic effect、新規材料に、次世代光源として期待される EUVFEL 関連の発表を加えた計 7 件で構成され、活発な議論が行われた。

東京エレクトロンの八重樫氏からは、パターン底部に残るレジスト残渣に起因する欠陥に関して、計測の問題点から、残渣低減に向けた施策について、大阪大学の中島氏からは、日本ゼオン社の新規レジストである ZEP530A の開発設計指針について報告が行われた。DSA のパターン欠陥問題に関しては、東京エレクトロンの村松氏から最新の状況が報告され、特に欠陥検出精度の観点から議論が行われた。DSA の新規材料では、北海道大学の磯野氏から、PS-*b*-PMMA を重合後に修飾することによって high χ 化した新規高分子、特に末端修飾の効果について紹介され、今後の発展が期待される結果であった。

ポスターセッションでは、Stochastic effect に関して、量子科学技術研究開発機構の佐々木氏から統計的効果のシミュレーションモデル解析、日立ハイテクノロジーズの福田氏から欠陥のモデリング・将来予測とモニタリングについて、新規材料に関しては、三菱ガス化学の堀内氏から新規マレイミド材料、王子ホールディングスの森田氏、山本氏から、ヘミセルロースを用いた SOC ハードマスク材料、DSA 材料がそれぞれ紹介され、さらに、次世代光源への対応として、量子科学技術研究開発機構の錦野氏からレジストの EUV レーザーによるアブレーション問題が報告された。それぞれの発表に対して活発な議論が行われ、情報の共有がなされた。

Nanoimprint Lithography (NIL)

オーラル 5 件 (アカデミック 2 件、産業界 3 件)、ポスター 3 件の発表を通じて、活発な質疑応答が交わされた。初めに、産総研の穂刈氏から、毛細管力現象を効果的に利用した、印刷と NIL を併用した新たな金属パターン形成技術が紹介された。本技術により、線幅 80 nm の金属インクパターン形成が実証され、近赤外線で機能するメタマテリアル構造の作製

に適用された事により、光学素子作製技術としての応用可能性が広げられた。続いて、北大の赤坂氏からは NIL の歯科応用に関する発表があった。歯科分野において NIL が注目された理由はマイクロナノレベルパターンが低コストで量産できるためである。具体的には、NIL により、エナメル質のナノアパタイトの組織化によるプリズム構造や歯根膜の歯面垂直廃校したコラーゲン繊維構造を作製する。また、NIL を用いて任意形状を歯に表面にて直接パターン化する方法やパターン化フィルムの貼る方法が紹介された。東芝メモリ（現・KIOXIA）の河野氏からは、半導体製造における NIL の展望について発表された。自己整合二重パターンングプロセスを適用したサブ 15 nm hp テンプレートを使い、NIL によるウェハ全面転写を実施し、ウェハ面内ばらつき CDU 0.4 nm および LWR 2.7 nm と良好な寸法性能が得られた。NIL がサブ 15 nm のシングルパターンングに有効であることを実証した事が発表された。DNP の大川氏からはマルチビーム描画機を用いた 1X nm NIL テンプレートの開発状況が紹介された。14 nm hp LS やカットアンドブランチを含む 1X nm LS のパターンを有する NIL テンプレートを形成可能であり、これまで複数工程が必要であったパターン形状を NIL の単一工程で形成できる可能性が示された。コンタクトホール用テンプレートについても良好な性能を得ており、さらなる微細化に向けての研究が進めている事、等が発表された。キャノンの浅野氏からは、同社の開発した NIL 装置の状況が発表された。最新の装置である FPA-1200 NZ2C において、独自のディストーション補正システムにより、液浸との XMMO で 3.2nm、SMO で 2.4nm の重ね合わせ精度を達成した。また、スループット 90wph、テンプレート寿命 300Lot 超を実証することにより、ArF 液浸によるマルチパターンングプロセスと比べたコスト優位性が示された。東京理科大の中村氏からは、従来の UV-NIL 用樹脂の耐候性に関わる弱点を克服できる有機無機ハイブリット樹脂を用いたマイクロレンズアレイへの反射防止構造形成プロセスが紹介された。大阪部立大の香山氏からは、UV レジストの硬化過程について、確率論的モデルに基づくシミュレーション手法を提案し、レジストの UV 硬化特性を分子レベルで解析した結果や、硬化収縮によるレジストの形状変化についてのシミュレーション結果が報告された。産総研の鈴木氏から、トランス-1-クロロ-3,3,3-トリフルオロプロペン (CTFP) とトランス-1,3,3,3-テトラフルオロプロペン (TFP) の 2 種類の凝縮性ガスの混合ガスを用いる UV-NIL 技術が発表された。混合凝縮性ガスの比率を最適化することにより、凝縮性ガスを吸収しやすい UV 硬化樹脂に対しても、20nm 以下の超微細パターンを形成が可能であることが実証された。

E-Beam, Metrology & Mask Technology

本セッションでは、オーラル 4 件、ポスター 5 件の発表が行われた。オーラル・ポスター発表を通じて、活発な質疑応答が交わされた。オーラルセッションでは、初めにニューフレアテクノロジーの松本裕史氏が、N5 世代向けに開発中であるマルチビームマスク描画装置に関して報告。位置精度及び寸法均一性が 1.2nm@3 σ 程度を達成している事、ビーム毎の照射時間制御と PLDC と呼ばれる補正機能により、パターン解像度と忠実性が向上して

いる事、EUV マスク向け近接効果補正に PLDC を適用し、描画時間が延びることなくオンライン補正が可能である事を発表された。次にエリオニクスの新関嵩氏が、開発中の超高速スポットビーム描画装置に関して報告。ターゲットはレーザー描画機では解像力が不足する領域のナノインプリント用 WAFER モールドを低コストで作成する事。大偏向フィールド(10mm□)採用によりステージ移動回数を低減させた事、大電流ビーム(最大 1000nA)を高速(400MHz)でスキャンするジェネレータを開発した事で、8 インチ WAFER 全面を4 時間程度で描画できた事を発表された。次に日立的林真悟氏が非破壊で検査計測を行える高解像低ダメージ低加速 SEM に関する収差補正技術について報告。収差補正信号に対する収差量の応答性を改善する事で、補正完了までのステップ数を減らせることを確認した。収差補正&低加速(100eV) SEM により、解像度(ラフネス)が改善する事、従来 SEM(800eV)よりもレジストシュリンクが小さく低ダメージである事を発表された。次に日立的松原信一氏が、走査イオン顕微鏡を用いた 3D デバイス内部構造観察技術に関して報告。ガス電界電離イオン源(GFIS)のガス種に混合ガス(例えば水素とネオン)を導入する事で、単一カラムで重イオン(ネオン)による試料表面の掘加工(Dig)と、軽イオン(水素)による表面観察(See)を、高速(スイッチングタイム 1 秒程度)で切り替えながら行う方法を紹介。3D 構造の半導体デバイスの評価に有用である事を発表された。

Extreme Ultraviolet Lithography (EUVL)

EUV 関連では、4 件の講演があった; 磁場デブリミチゲーション技術を用いた高出力 LPP-EUV 光源の開発(齋藤隆志氏、ギガフォトン)、量産体制に入りつつある EUV におけるマスク技術関連の課題について(前中裕三子氏、KLA-Tencor)、Progress of EUV lithography System for Semiconductor High Volume Manufacturing(宮崎順二氏、ASML Japan)、EUV 量産に向けたプロセス改善状況(塩澤崇博氏、東京エレクトロン九州)。齋藤氏からは同社の EUV 光源の開発状況が紹介された。三菱電機や九州大学、宇都宮大学、兵庫県立大学などと共同で開発を進めている。現在の最重要開発課題はコレクターミラーの寿命である。反射率低下は目標-0.05%/Gpls に対して、現在は-0.5%/Gpls まで改善してきた。スズが膜中にインプラすることや、膜の酸化が主な反射率低下要因であると紹介があった。

前中氏からは、マスクやウェハ検査装置に関する全体的な紹介を頂いた。ブランクメーカー、マスクショップ、デバイスメーカーのそれぞれの段階での検査の流れ、必要スペック、課題を紹介した。Stochastic な影響があるため、EUV ではリピート欠陥だけでなく、転写条件に応じて欠陥が発生するかどうかが変化する。Stochastic 効果に対応した欠陥シミュレーターの重要性を説明した。

宮崎氏からは EUV リソグラフィによるデバイス各社の量産状況記事のレビューがあった。TSMC は 3 月に量産開始しており、Samsung も量産開始している。EUV リソグラフィにより今後 10 年以上、スケーリングを支えていきたいと発表があった。露光機のスループッ

トは 170WPH であり、250W 出力を 1 ヶ月以上安定供給できており、最大は 2200 枚/day である。光源はバーストでは 450W を達成しており、コレクター寿命は-0.1%/Gpls に改善した。ペリクルはウェハ 1 万枚露光で-0.8%の透過率変化である。三井化学とペリクルのライセンス契約をしたとの紹介もあった。

塩澤氏より、コーターデベロッパーでの欠陥やパタン倒れ、LCDU 改善状況に関する紹介があった。ホール欠陥はレジストや SOG, SOC 膜中の欠陥が問題で、エッチング後に観察することで正しく評価できる。パタン倒れはリンスにより capillary force を制御し、プロセス余裕度を増した。LCDU のばらつきは EUV では特に大きい。ウェハ間、フィールド間やフィールド内の LCDU ばらつきすべてをプロセス条件の最適化により改善できた。