

NGL ワークショップ 2018 報告

会議全体

次世代リソグラフィ技術研究会では、7月5、6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。260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。各セッションを担当した企画委員による簡単な報告を作成しました。

Plenary Presentations

○ 産業技術のプラットフォームの役割を担う産総研

(産総研 岡田氏)

産総研理事の岡田氏に、産総研の活動を紹介いただいた。産総研は、個別の研究法人がある原子力と宇宙以外のすべての技術をテーマとし、研究員（専任、ポスドク、外来）9,300名、全体で約1万名の職員を擁す。年間予算は約1,000億円で国内最大、WWでも4番目の規模を持つ研究機関である。つくばを中心に国内に10拠点があり、膨大な特許を保有しており、特許の引用数では国内トップである。産総研の研究成果は、国内産業に還元されるべきものであり、企業の資金で産総研内に研究室を作る「冠ラボ」など、民間企業とのコラボレーションに力を入れている。民間とのコラボを推進する役のコーディネータも67名在籍しており、興味があればぜひコンタクトしてほしいとのことであった。

○ CMOS/MTJ Hybrid NV-Logic と 3D Vertical Memory が拓く革新的 IoT/AI システム

(東北大 遠藤氏)

東北大遠藤氏には、IoT/AI、ニューロモルフィックデバイスなどの動向と、東北大が開発中の CMOS/MTJ Hybrid Logic の研究成果をご紹介いただいた。数ある NVM（不揮発性メモリ）の中で、STT-MRAM は、endurance、retention、書き込み時間、書き込み電流・電圧など、殆どの特性で PCM や ReRAM に勝り、非常に期待できる。ニューロモルフィックデバイスは、低消費電力化のためにアナログ回路を用いる手法が優勢であるが、信頼性確保の点で実績のある CMOS をベースとし、そのうえで動作させるのがよい。東北大で開発中の CMOS と MTJ のハイブリッドシステムは、消費電力、速度（クロック）の点で非常に期待できる。(ルネサス 藤井)

Optical Lithography & Advanced Patterning Technology

オーラル4件、ポスター5件の発表があった。

ニコン 衛藤 茂 氏から、次世代デバイスのマルチパターニング技術に求められる高度なオーバーレイ補正機構を搭載した ArF 液浸装置 NSR-S635E について発表頂いた。露光装置と塗布現像機のインターフェース部で多点オーバーレイ計測を行い、TAT (Turnaround time) を落とすことなく、ウエハ単位での高精度アライメント補正が可能。マルチパターニング工程の生産性向上への寄与が期待できる。

ギガフォトン 佐藤 太 氏から、露光 CD に大きく影響する ArF エキシマレーザーのスペクトル品質を表す指標値 E95 (スペクトル中 95 % のエネルギーが集中しているスペクトル幅) をもとに、レーザースペクトルの品質を安定的に管理する先進的なレーザー出力制御システムについて発表頂いた。また、レーザー機構のビッグデータを用いたデータドリブンの制御システムを提案し、露光装置の安定稼動に寄与できるとした。

東京エレクトロン 八重樫 英民 氏から、5nm ノード以細の微細パターニングにおいて、レジストの薄膜化がレジストの LER (Line Edge Roughness) を増大させるという新たな技術課題を見出したとの発表を頂いた。この事象発生のメカニズムは現在調査中とのことであったが、下地基板との界面にレジストの変質層が生じ、これがレジストボトム部の LER を悪化させている可能性が高いことを示唆した。

東芝メモリ 阿部 耶依 氏から、主パターンとその隣接パターンを含めた周辺領域を含む露光シミュレーションパターンの潜像 CD、光学強度、光学像の急峻度を特徴量としてホットスポットを検出する機械学習手法について発表頂いた。設計ルールに対するマスクデザインの忠実度を検証する従来のマスクデータ保証手法 (MRC : Mask Rule Check) を補完する新しいパターン検証手法と期待する。

ポスターセッションでは、東芝メモリから自己結像作用によるタルボリソグラフィ技術、東京電機大から凹面レジストパターン形成リソグラフィによる 3 次元造形技術、日立製作所からの原子層レベルエッチング技術と機械学習によるエッチング形状予測技術、ナノサイエンスラボから DTCO (Design Technology Co-Optimization) を考慮したサブ 20nm SRAM FinFET トランジスタの設計手法に関する発表を頂いた。(東芝メモリ 廣島)

Directed Self Assembly (DSA) and Resist Materials

東京エレクトロン九州 村松誠氏から DSA パターンの欠陥削減に関する報告があった。Line パターン形成プロセス各ステップでの欠陥解析結果に基づき改善を行った結果、欠陥密度が大きく改善。毎年一桁の欠陥密度低減が実現されており、今後の量産への展開が期待される。また、DSA での Hole パターン形成時の欠陥評価結果も報告された。

王子ホールディングス 森田和代氏から木材由来のヘミセルロース SOC および DSA 材料の報告があった。SOC、DSA 材料ともパターニング後に R2H (Reactive Hemicellulose Hardening) という処理を施すことでエッチング選択比を大きく改善することが可能となる。DSA 材料は 10nm から 100nm レベルの広いピッチをカバーする Wide Range DSA 材料と

して開発が行われている。

東京エレクトロン 永原誠司氏からは EUV 用光増感化学増幅レジスト(PSCAR)の開発状況の報告があった。EUV 露光後の UV 露光で増感することで、レジストラフネスと感度の関係を改善する手法である。トラック内に設置した UV 一括露光システムの評価が imec で開始された。また、PSCAR に対応したリソグラフィシミュレータもリリースされ、展開準備が着々と進行している状況が報告された。

日産化学 志垣修平氏から DDR(Dry Development Rinse)プロセスに関する報告があった。Wet プロセスで問題となるパターン倒れを解決する手法として DDR プロセスが有効である。DDR プロセスとネガ現像、ポジ現像を組み合わせることで、ダークフィールドマスクから Hole、Pillar パターンをそれぞれ形成する例が示された。本手法は光学系フレアやブラックス欠陥回避が課題となる EUV 露光において有効である。

また、ポスターセッションにおいても活発な議論が行われた。(ニコン 平柳)

Nanoimprint Lithography (NIL)

大日本印刷(株)の大川泰央氏より、マルチビーム描画機を用いたナノインプリントリソグラフィ(NIL)テンプレートの開発状況について発表いただいた。1Xnm 世代の微細なテンプレートであっても、複数の並行ビームを用いるマルチビーム描画機によって現実的な描画時間でフルフィールドの NIL テンプレートを作製可能である。実際に 14nm の微細パターンを作製した例が示された。東芝メモリ(株)の東木達彦氏からは、NIL の最新状況とともに、次世代デバイスへ向けた NIL の展望を紹介いただいた。特にコンタクトホール形成が得意な点、3次元構造を一括でインプリントできる点から、次世代の DRAM 等への適用が期待される。また、ニューロモーフィックデバイスについても、欠陥の許容度が高いという観点から、NIL の適用可能性があることが紹介された。キヤノン(株)の林智彦氏より、同社の開発した NIL 装置 FPA-1200 NZ2C の最新状況を報告いただいた。欠陥密度が 0.5 個/cm²、重ね合わせ精度が液浸との Mix & Match で 3.4nm、スループットが 4 station のクラスター化によって 90wph にまで向上した。装置内のパーティクルを抑制することにより、実用的なテンプレート寿命 80Lot 以上を実現した。産業技術総合研究所の尹成圃氏からは、パターン密度の違いによって生じる残膜厚の分布を補正する方法について発表いただいた。パターン密度に応じてテンプレートのパターン深さに差を設けることにより、均一な残膜厚を実現し、下地加工後の CD 均一性を保つことができる。東北大学の中川勝氏には、NIL レジスト材料の有機/無機ハイブリッド化と題して、NIL レジストのドライエッチング耐性の向上に関する研究結果を発表いただいた。UV 硬化後の NIL レジストへ、3種類の方法でトリメチルアルミニウムを暴露し、ドライエッチング耐性の違いを界面化学の観点で考察いただいた。ポスターセッションでは、東芝メモリ(株)とキヤノン(株)から2件ずつの報告をいただき、半導体デバイスの量産に向けた NIL 技術の進展を知ることがで

きた。(キヤノン 酒井)

E-Beam, Metrology & Mask Technology

今年のワークショップではオーラル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、日立ハイテクノロジーズの川田洋揮氏が、ラフネスの計測方法に関して報告。ラフネス計測値からランダムノイズ成分を取り除くことで、(フレーム積算数等の)計測条件によらずほぼ同一の値が得られる事を報告。ランダム成分を数値化して、計測値から差し引く事が必要であると発表された。2番目に、東芝メモリの中真人氏が、DUV光源の検査装置を用いた EUV マスクの欠陥検査に関して報告。NIL マスク検査用に開発された光学系 (SIRIUS) を備えた装置を EUV マスク用にチューニング (ステージ速度等) する事で、EUV マスクの欠陥検査 (感度: 転写寸法エラー10%、検査エリア: 100mmx100mm) を従来マスクと同等の120分程度まで短縮できた事を報告。hp1Xnm の EUV マスクの欠陥検査に SIRIUS 適用が期待できる事を発表された。3番目に、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 MBM-1000 に関して報告。電子光学系、高速データ転送系の開発により、8 回重ね描画でも描画時間は 10 時間程度に収まる事、また PLDC 描画補正機能 (画素単位の高速度変調機能) 開発により、パターン解像性を向上させる描画が可能である事を発表された。最後に、大日本印刷の小澤英則氏が、新たに導入したマルチビームマスク描画装置 MBMW-101 に関して報告。装置構成と共に描画結果を紹介。位置・寸法精度共に、N7 世代の要求スペックを満足している事、曲線パターンも良好に描画形成出来ており、描画時間は概ね 10 時間程度であった事を発表された。(DNP 瀧川)

Extreme Ultraviolet Lithography (EUVL)

EUV 関連では、5 件の講演があった ; EUV lithography in HVM for continuing Moore's Law into the next decade (宮崎順二氏、ASML-Japan)、半導体デバイス量産用に向けた高出力 LPP-EUV 光源の開発 (溝口計氏、ギガフォトン)、EUV リソグラフィ用材料とプロセスの最近の進展、量産への準備は如何に? (藤森亨氏、富士フイルム)、微細 SRAF を有した Ta 吸収体 EUV マスクのプロセス開発 (森下佳子氏、東芝メモリ)、材料加工応用に向けた軟 X 線レーザーによる表面アブレーション (錦野将元氏、量研機構)。

宮崎氏からは、同社の NA=0.33 の量産向け露光装置 NXE3400 の現状性能 (解像性能、寸法均一性、重ね合わせ精度、光源パワー、スループット等) が紹介された。ペリクル開発に懸念が残るものの、量産に向けて着実に準備が整っている印象を受けた。さらに NA>0.5 の次世代露光装置の開発状況にも触れ、EUV 露光のさらなる可能性が示唆された。

溝口氏からは、冒頭、6月に米国で開催された EUVL Workshop の内容が紹介され、インテル社のコメントとして、EUV 光源のパワーが 250W を達成したことは大きな進展である旨紹介された。同社の EUV 光源の開発状況では、昨年に引き続き、同社の EUV 光源開発が着実に進展しており、光源パワーの向上に加え、特に Availability の向上にシステムティックに取り組んでいる様子が印象的であった。

藤森氏は、レジストプロセスである、塗布、露光、現像過程それぞれの“Stochastic effect”について、わかり易く解説し、いくつかの解決手法を紹介した。その一つとして、同社が取り組んでいる高光吸収材料を用いた化学増幅型レジストの開発状況が紹介された。感度を維持したまま LER を低減することができ、今後有望な材料となる可能性を示した。

森下氏からは、ハードマスクプロセスを利用したハーフピッチ 11 nm (マスク 44 nm) 以細の EUV マスク製作について紹介された。現行のポジレジスト単層加工を用いると線幅ばらつき (LWR) 5 nm 以上となり仕様を満たせない。ナノインプリント用の Cr ハードマスクを適用し 3 nm 以下の LWR を得た。SRAF パターンでは孤立パターンが多く、さらに加工が難しいが、精度良く加工できたとの紹介があった。

錦野氏からは、超短パルスの EUV レーザーを用いた表面加工と、レジスト耐性の紹介があった。露光に用いた光源は X 線自由電子レーザー-SACLA であり、パルス幅は 200 fs と非常に短い。照射強度は 1shot で 20-30 mJ/cm² であり、レジストアブレーション閾値は 10-20 mJ/cm² となった。さらに、通常 PMMA レジストは 10 mJ/cm² 程度の露光では現像液に溶解しないが、本実験では部分的に溶解していた。露光感度の非線形性があるのではと提案がなされた。(EIDEC 井谷、兵庫県大 原田)