

1. はじめに

フォトマスクに関する国内唯一の国際学会であるホトマスクジャパン（Photomask Japan：PMJ）2021について概要を報告する。昨年のPMJ2020はCOVID-19の感染拡大に伴い、会期直前に開催中止となり、今年は2年ぶりに2021年4月20日から4月21日の2日間で開催された。COVID-19感染防止対策として会場での開催を取りやめ、Zoomウェビナーを用いて完全オンライン化したデジタルカンファレンスとして開催した。ネットワーク接続トラブルによる発表中の中断リスクを避けるため、今回は発表者に対して事前に発表内容のビデオ録画収録をお願いし、会期中はそのビデオを流す形式をとった。ただQ&Aについてはビデオ放映終了後に発表者にZoomにて参加してもらい、参加者からの質問に答える形式をとった。また、発表者が日本のみならず、USやヨーロッパと世界各地に在住されているため、各地の時差を考慮したプログラム編成をおこなった。

2. 投稿論文数と傾向

PMJ2021の発表件数は51件（キーノート1件、招待講演11件、オーラル27件、ポスター12件）であり、PMJ2019より6件の減少となった（オーラル発表のうち1件がキャンセルとなったが件数に含めず）。また、参加者はPMJ2019の398名から338名へと減少した。表1にカテゴリー別発表数を示す。

表1 カテゴリー別発表件数

Topic	Keynote	Invited	Oral	Poster	Total
1. Materials for photomasks		2			2
2. Fabrication process steps and equipment for photomasks			1		1
3. Photomask writing tools and technologies including multi-beam EB writer			3		3
4. Tools and technologies for metrology/ inspection/ repair		2	7	2	11
5. Technologies and Infrastructures for EUVL masks	1	2	4		7
6. Technologies and Infrastructures for NIL masks		1	3		4
7. Technologies and Infrastructures for FPD masks			1		1
8. EDA, MDP, curvilinear ILT and DTCO			3	1	4
9. Photomasks with RET: PSM, OPC, SMO and multiple patterning			1		1
10. Photomask-related lithography technologies		1	2		3
11. NGL mask technologies and their applications: DSA and others			1		1
12. Strategy and business challenges: cost, cycle time and total mask solutions		1			1
13. Patterning technologies for semiconductor and electronic devices		1			1
14. Semiconductor manufacturing technologies		1	1		2
15. eBeam direct writing and eBeam lithography technologies					0
16. Photomask and lithography related technologies in academia				9	9
Total	1	11	27	12	51

3. 各セッションの概要

以下に、セッションごとの発表内容の概要を記す。

[Session 1 : Opening Session Day1]

当セッションではキーノートスピーチ 1 件、招待講演 1 件、一般投稿 1 件の計 3 件の発表があった。

1 件目の発表は Keynote Speech として、Intel 社の Schuegraf 氏から「Photomask Challenges for Data-Centric Computing in the 2020's」というテーマで今後のコンピューター、ストレージ、ネットワークにおけるデータボリューム肥大化に対して当社の戦略についてご講演いただいた。当社は今後も積極的に投資を進めていくとともに DUV プロセスについてはチップサイズが大きくなるにつれマスク欠陥への要求はさらに厳しくなり、Big Die 対応の検査装置も必要とのことであった。また、高速で低ランニングコストのレーザー描画機の適用も視野に入れる必要があるとのことである。EUV マスク開発についてはブランクス、描画、修正、ペリクル、検査の 5 項目それぞれの課題を挙げ、さらなる向上が必要と訴えた。High-NA EUV は <10nm 解像度を目指すには必須の技術で 2023 年は必要とのことであった。リソグラフィ技術の発展にはマスクサプライチェーンが重要だということも述べられていた。

2 件目は招待講演として、ASML の HMI 社 Cao 氏より「Edge Placement Error Metrology for Process Optimization and Monitoring」と題して、ウェハープロセスコントロールにおいて EPE (Edge Placement Error) をいかに精度よく制御するか課題と解決策についてご講演をいただいた。EB 計測機 eP5 を用いたプロセスコントロールについて実例を挙げての説明があり、例えば機械学習を使った OPC モデル精度向上やプロセスウィンドウ向上、複数レイヤーにまたがった EPE 解析について述べられた。最後に、OPC やリソグラフィ技術、オーバーレイ計測、CD、EPE 計測などプロセスコントロール全体のソリューションが提供できるとのことであった。

3 件目の発表は一般投稿から Bruker RMR 社の Robinson 氏から HAR (High Aspect Ratio) tip を用いた修正精度向上の発表であった。OMOG マスクに対して従来の修正技術に比べて HAR1.8tip を用いた修正では修正後の SWA や底部形状の改善、修正箇所の Edge Placement や深さ方向ばらつきが改善できたとのことである。今回の評価は OMOG 基板で行ったが、TaBON EUV マスクでも良好な結果を得られており、Cr 膜についても修正可能とのことのことであった。

[Session2 : ML & MPC]

Machine Learning と Mask Process Correction に関するセッションでは 3 件の発表があった。

1 件目の発表は NCS の Ramadan 氏による EUV マスクにおける MPC モデルの精度に関するもので、DUV に適用した手法がガウシアンレンジや数を調整することによりそのまま EUV に適用できることが示された。

2 件目の発表は Center for Deep Learning in Electronic Manufacturing 社の Braranwal 氏によるもので、Digital Twins 技術で作成した SEM サンプルを用いて Deep Learning エンジントレーニングすることではるかに優れた結果が得られることが示された。これは NFT 社の製品に実装されて、Manufacturing に適用されることが期待される。

最後の発表は Synopsys の Kwok 氏によるルールベースの MPC についての発表であった。ルールテーブルを作成する際に MPC モデルを参照することで、ルールベース補正の高速化とモデルベースの高精度のいいところ取りを狙うものであった。ただ、ターゲットが 22nm であり、先端ノードに関してはモデルベース MPC に先立つ Pre-Biasing に役立ちそうである。

なお、本セッションでは初めの二つの発表では発表者が登場せず、Q&A が成り立たなかった。セッションチェアが冷や汗をかきながら対応してことを記しておく。

[Session3 : EUV from Asia1]

本セッションでは 1 件の招待講演と 2 件の一般講演があった。

1 件目は招待講演で、兵庫県立大学の渡邊先生からニュースバル放射光施設を利用した EUV に関係したマスク及びレジストの研究活動とその成果に関連する講演を頂いた。BL03 では、EUV・真空紫外領域の反射率計にてマスク材料の反射率計測を行い、OoB 領域 (~100nm) で 30% の反射率を確認。また暗視野の EUV 顕微鏡にて高感度な欠陥の検出を実現している。BL09 では、コヒーレントスキヤトロメトリ顕微鏡 (μ -CSM) にて 30nm 幅 x 1.7nm 高さの位相欠陥のイメージ観察を実現。BL10 では、高濃度 H2 下の EUV 照射装置を製作し、マスク材料の耐性評価を実施している。斜入射のスキヤトロメトリ計測により 28nm のレジスト欠陥の評価を実現したことを報告した。

2 件目は、HOYA の Fukasawa 氏から EUV Phase Shift Mask (PSM) Blank に関する発表があった。Low n (低い屈折率) の光学特性を有する 3 種類の PSM 材料は、優れた材料特性 (平滑性、洗浄耐性と H2 プラズマ耐性) を持つ。プロトタイプマスクを試作し 100nm 以下の微細パターンを実現し露光評価を行った (ASML が SPIE2021 で発表)。また EB リペアー工程にて、自発エッチングのない工程を最適化し、キャップ材と高い選択比を実現したことを報告した。

3 件目は、ESOL の Lee 氏から PSM 吸収体用の位相シフト計測器に関する発表があった。20 年にわたり高次高調波 (HHG) を用いたコヒーレント EUV 光源の開発を行ってきた。EUV 顕微鏡システム (SREM) では、ゾーンプレートを使い NA0.33 の露光機と類似した反射イメージを実現でき、マスク欠陥のイメージからウェハー上の転写欠陥、CD 変動への影響を計測することができる。位相計測は、SREM 計測器を利用しデュアルスリットを使い吸収体と多層膜上からの干渉スペクトルにより位相角を計測する。位相角の計測再現性は、0.2 度 (レンジ) を実現したことを報告した。

[Session 4 : Lithography]

本セッションでは、2 件の一般公演があった。

1 件目は、東京電機大の堀内先生から、2 枚のパラボリックミラーを用いた新たな露光方法について、ご講演いただいた。2 枚のパラボリックミラーを対応させ、各ミラーの中央にホールを設けることにより、片方のホールに設置した凹凸のある対象物を、もう一方のホール面に結像できることを証明している。また、リング状の証明系と透過マスクを用いることにより、Blur の影響を抑え、コントラストの高い像が得られている。今回の発表は、光学系についての基礎評価であったが、局面への印刷は、今後応用範囲が広いと考えられ、実用化に向けて更なる改善が期待される。

2 件目は、大阪府立大の Osumi 氏から 3 次元リソグラフィに用いられる Built-in lens Mask 用デザインの自動化についてご講演いただいた。Built-in lens Mask では、フーリエ変換を用いたパターンを

用い、位相を制御している。このマスクを用いて転写することにより、パターン解像性の改善及び焦点位置を制御できるようになる。段差の異なる対象物に対して、パターンを形成するためには、段差ごとに分けられた転写パターン（シードパターン）ごとにマスク上のパターンを発生させることが必要であり、3次元構造物に対して解像性を向上させるためにはシードパターンの最適化が重要になる。本講演では、独自に開発したシードパターン自動発生プログラムのフロー及び自動発生させたシードパターンを基に発生させたマスクを用いた転写シミュレーション結果が示された。自動発生させたシードパターンを用いることにより、20um 段差のある対象物上で 1.5um のパターンが解像することが示された。また、ピラミッドパターン及びヘリカル構造への適用例についても示された。

[Session 5 : PSM, Etching & FPD]

本セッションでは、3件の一般講演があった。

1件目の講演は、凸版印刷の Matsui 氏からの発表で、高透過率 PSM (30%PSM) と従来 PSM (6%PSM) の転写性能比較が報告された。Dot 系パターン（ウェハー上はネガトーン現像でホール系パターン）では 30%PSM によりプロセスウィンドウが向上するが、Line 系パターンでは 30%PSM の効果は小さい。マスク欠陥に関しては、30%PSM の欠陥転写性は 6%PSM と同等で、修正加工性は良好であった。光学シミュレーションでの予測と、実マスクの AIMS 結果およびウェハー転写結果は良く一致するとのことであった。ArF 露光耐性、洗浄耐性、サイドローブの影響、SRAF の転写性、マスク欠陥検査性を確認しているかとの質問には、いずれも確認しており問題無いとの回答であった。

2件目の講演は、日立製作所の Nakada 氏からの発表で、SAQP にて形成した 12.5nm L&S パターンのエッチング条件について機械学習を用いて最適化する手法が報告された。エッチング深さのばらつきとパターン倒れにより機械学習に正確な情報を入力できない課題があったが、エッチング深さのばらつきに関しては平均値と分散値を使用することで、パターン倒れに関しては倒れていないパターンエッジ部の情報を使用することで解決した。これにより、50 サンプルのみでエッチング条件の最適化に成功したとの報告であった。Q&A では、機械学習開始時のイニシャルの 25 サンプルは実験計画法を用いて選択したとの回答があった。また、ウェハー面内でのエッチングプロファイルの均一性は今後の課題とのことであった。

3件目の講演は、HOYA の Kanaya 氏からの発表で、FPD 向けマスクの新しい欠陥保証方法が提案された。メインパターンの種類やサイズによってマスク欠陥の転写性が異なることを光学シミュレーションで確認し、従来手法である欠陥サイズによる画一的保証では限界に来ているとの報告がなされた。そこで、実際に g、h、i 線光をマスクに照射し、欠陥部の光学イメージを取得できる HHS: HOYA Hardware Simulator Model による欠陥保証が提案された。プログラム欠陥マスクを用いた評価では、HHS により欠陥部の intensity 変動を捉えられているとのことであった。Q&A では、HHS の TAT への影響は小さく、他社への販売の予定は無いとの回答があった。

本セッションでは、光学シミュレーションを用いたマスク材料設計や欠陥の転写影響予測、機械学習を用いたエッチング条件最適化という評価効率化に関わる報告がなされた。特に機械学習に代表される AI 技術の活用事例は年々増加しており、今後も注目題材として積極的に投稿を促したい。

[Session 6 : EUV from Europe]

本セッションはヨーロッパからの講演であり、3件の招待講演と、1件の一般講演があった。

1件目は Carl Zeiss の Bilski 氏から High-NA EUV imaging: challenges, status and outlook というテーマで High-NA 露光機の光学系を中心とした発表があった。High-NA 露光機で検討されているミラーの中心部に穴を開けた Obscuration 光学系のウェハー転写への影響を説明し、Tachyon を用いた Pupil 適正化でコントラストの改善が可能であることを示した。

2件目は、ASML の Setten 氏から High-NA EUV Exposure Tool for EUV roadmap extension: Program Progress and Mask Interaction というテーマで、High-NA 露光機の進捗や評価状況の報告があった。既存の Ta 吸収膜と Low-n マスクの比較結果を示し、Low-n を用いるとパターンコントラスト改善、ドーズ低減等のメリットがある事を示した。High-NA 露光機については、既存の NA0.33 機と NA0.55 機のステージ駆動速度の違いを動画で流し、順調に開発が進んでいる事を示した。

3件目は imec の Gallagher 氏から CNT pellicles for EUV lithography: exposure, tunability and life time というテーマで、CNT ペリクルの開発状況報告があった。SWCNT, DWCNT, MWCNT の3種類のペリクルを用いて EUV 透過率、耐熱性、ライフタイム、露光試験結果等の報告をした。透過率はターゲット 90%に対して 95~98%と非常に高い透過率を達成。ライフタイムは 600W で 30 分耐えたとの報告であったが、量産へ向けた更なる改善を目指し、コーティング試験等を実施していくとの事であった。

4件目は一般講演であり、RWTH Aachen University の Brose 氏から Compact EUV spectroscopy tool for optical characterization of novel photomask material というタイトルで発表があった。EUV 光を用いた測定機の紹介であり、膜厚や光学特性の測定の評価結果を示した。また、フォトレジストの露光部/非露光部の識別が可能かの検証を実施し、識別可能な差を確認できたと報告した。

[Session 7: Opening Session Day 2]

招待講演 2 件と一般講演 2 件の計 4 件の発表があった。

招待講演 1 件目は eBeam Initiative の Fujimura 氏より恒例のマスクマーケット全般に関するアンケート結果の報告。本年に特有の項目として COVID-19 のビジネスに対する影響についての質問があり 75%程度が Neutral または Positive と回答していたが、Positive と回答した割合が 2020 年の 6%から 2021 年は 24%に増えていたのが昨今の半導体産業全体の地位の底上げを示しているように思われた。そのほか EUV ペリクルとマルチ EB 検査に対する信頼または期待感が強く感じられたのと、ILT については二極化して、全てのクリティカルレイヤーを ILT 化する割合とまったく ILT を使わない割合の両エンドが共に増加していたのが興味深かった。

招待講演 2 件目の UC Berkeley の Sherwin 先生によるピコメートルレベルでの EUV の位相測定に関する報告と、3 件目である一般講演の LINTEC of AMERICA の Marcio 氏による EUV ペリクルに関する報告は、セッションタイトルこそ付いていないものの EUV from USA と題すべき充実した内容で、両報告とも実用化の先端における課題を初学者にも分かりやすく説明していた。ただし EUV ペリクルの発表は収録されたビデオの時間が長すぎて十分に質問の時間が取れなかったことが悔やまれた。聴講者からのフィードバックを十分に得たい。講演者においてはできるだけ余裕を持って発表時間に収まるようにビデオ編集をお願いしたい。

4 件目の講演は Cyber Optics の Vijay 氏から in-situ でのパーティクル測定器に関する報告で、成分

分析はできなくてもサイズ分類によりある程度コンタミ源の絞り込みも可能という説明から単なるコンパクトカセット化だけでない高い技術力を持つ印象を受けた。

[Session 8 : NIL]

本セッションは招待講演 2 件、一般投稿 4 件であった。

招待講演の 1 件目は、Canon Nanotechnologies の Resnick 氏より、ナノインプリントリソグラフィ (NIL) に関して、その黎明期から将来への応用までを、半導体デバイス製造に拘わらず広い技術分野、特にオプティカルデバイス製造を中心に報告していただいた。半導体デバイス製造への応用に関しては ArFi-SADP,LELE のプロセスと比較して、NIL を導入することで CoO を 28%以上低減することが可能であることが示された。特に今後の 14nm hp L/S 以降の DRAM への NIL 適用については、アライメント精度に注目して、キヤノンの NIL 装置で提案されている各種技術の紹介があった。オプティカルデバイス製造への応用に関しては、近年研究報告されている Slanted Gratings、Meta Lens 等の新規デバイスへの応用例の紹介があった。

招待講演の 2 件目は、AIST (産総研) の YOUN 氏より、多様かつ中規模生産と予想されるデバイス (i 線ステップ、レーザー描画装置よりも高解像度が要求されるデバイス) にターゲットを絞り、NIL を適用するための次の 3 つの技術について報告していただいた。一つ目は PFP

(Pentafluoropropane) 等の凝縮性ガスを用いたインプリント時の高速バブルフリーNIL 技術、二つ目はレジスト RLT (残膜厚) をコントロールするためのモールドデザイン技術とその製造技術、三つ目はウエハレベルのレプリカモールド製造技術とそれを用いた高速インプリント技術である。これらの技術を用いてオプティクス、バイオ/医療用、MEMS 分野のデバイス製造を実現していくとの報告であった。

3 件目の発表は、KIOXIA の Kagawa 氏より、サブ 15nm hp L/S のテンプレートを SADP プロセスで製造する際の EB 描画時のパラメータ最適化についての報告があった。EB 描画時に CD がパターン密度により変動してしまうことを防ぐために、近接効果補正 (PEC) とフォギング効果補正 (FEC) のパラメータを最適化した。最終的に SADP プロセス時のギャップとレジストコアの CD エラーをそれぞれ 0.4nm 以下とすることができたとし、8x8mm のエリアでパターン密度が 28~56%に変化する条件で、ターゲット CD レンジ 0.7nm 以下を満たすことができたという報告であった。

4 件目の発表は、DNP の Ichimura 氏より、Dual Damascene 用の NIL テンプレートと 3D テンプレートの製造実証についての報告があった。特に Dual Damascene テンプレート製造では EB 描画時の Via 工程と Trench 工程との間のオーバーレイエラー低減技術が重要になるとのことである。マルチビームマスク描画装置 (IMS 製 MBMW-101) において、新規のアライメント技術を用いてオーバーレイ精度 1nm 以下を実現することができたとの報告があった。また 3D テンプレートの製造実証として、マルチステップテンプレートの例、1:5 の高アスペクト比の L/S 用テンプレートの例、傾きのあるスロープ形状のテンプレートの例等が報告され、これらの 3D テンプレートが将来の NIL の適用分野を広げるだろうとの報告であった。

5 件目の発表は、Canon の Arai 氏より、インプリント時のテンプレートとウェハー間の液滴レジストの挙動を、実用的な計算時間でシミュレーションすることが可能な自社開発シミュレータについての報告があった。このシミュレータの特徴として、シミュレータの入出力が、実際の NIL 装置でのインプ

リント時の入出力とダイレクトにリンクしていることが挙げられる。加えてテンプレート変形、レジストドロップ拡がり合体、レジスト流れ、ガス流れ、ガスバブルの拡散などが物理モデルに基づいていることが特徴とされている。このことにより各種入力パラメータによる欠陥分布の依存性が、実験とシミュレーションで良い一致を確認できたとのことである。このシミュレータを用いることで、実験に先立って NIL プロセスの各種パラメータの最適化が可能になるとの報告であった。

6 件目の発表は、Canon の Tanaka 氏より NIL 装置の今後の DRAM, Logic への適用を見据えた場合に重要となるオーバーレイ精度について、様々な技術（高次ディストーション補正、低摩擦ウエハチャック、インプリント力の最適化、等）を組み合わせ、向上を図っていることが報告された。これによりオーバーレイ精度を X, Y 共に平均+3 σ で 3.3nm から 2.8nm まで向上させることが可能であることを示した。また、通常のリソグラフィ装置と NIL 装置でのエッジプレースメントエラー（EPE）のバジェットモデルの考察が報告された。NIL のパターン転写性能等の優位性を生かすためには、NIL プロセス後のエッチング技術が重要となるが、NIL で形成した 19nm hp L/S のレジストパターンが、所望の精度でスピンオンカーボン層に転写できているとの報告があった。

[Session 9 : EUV from Asia2]

本セッションでは 1 件の Invited と 2 件の一般講演が予定されていたが、1 件の一般講演は残念ながらキャンセルとなった。

1 件目の招待講演では大阪大学の古澤先生から「Mechanism of electron beam resists」を講演いただいた。フォトレジストの現像工程での QCM による溶解速度測定により、レジストの溶解速度変化を測定している。表面と基板側には溶解速度の違う層が存在し、基板側の分離は酸の生成を計算した結果でも生じていた。その影響はレジスト厚さによらず一定であり、薄い膜では LWR の増加を引き起こす。また、フォトレジストの感度は現像温度によって変化するが、その変化がなぜ生じているのかを Pulse radiolysis により評価した。

2 件目の一般講演では National Sun Yat-sen University の Kuo 先生より EUV ペリクルの真空引きや搬送に伴う膜ストレスについて講演いただいた。EUV ペリクルのストレスを膜変形から評価する。開発している測定光学系では、白色光を光源としており、検出波長の変化が膜変形に相当する。

[Session 10 : Inspection]

本セッションでは、1 件の招待講演と 3 件の一般講演であった。

1 件目の招待講演は、レーザーテックの Miyai 氏より、同社が世界で初めて製品化した APMI (Actinic Patterned Mask Inspection) の検査装置 ACTIS に関する内容で、開発経緯の説明、検査性能の紹介、さらに将来の高 NA 化への対応も説明された。ACTIS では、Di-to-die 検査だけでなく、マスクショップ用として、Die-to-database 検査も可能。また N3 世代以降の高 NA 用アナモルフィックマスクに対しては、片側の NA が大きい光学系が利用される。Q&A セッションでは多数の質問があり、D2S の Aki 氏からは、Curvilinear への対応性が尋ねられ、それに対しては、開発された Die-to-database におけるレンダリングで対応できるとのこと。次は D2S の Tanaka 氏から、検出できる欠陥サイズが尋ねられ、それに対しては N7 に対応できていると回答された。また、Goldman Sachs の Nakamura 氏からは、3 nm 世代への対応性が質問され、それに対しては、ACTIS は解像性能が高いの

で、将来は 3 nm 世代も対応できるとのことであった。

2 件目は、ウシオ電機の Aoki 氏から、同社で以前から開発してきた APMI 用の EUV 光源に関する発表であり、内容としては、EUV 光の発生原理、装置構造、さらには長時間動作も含む広範囲なものであった。Q&A セッションでは会場から 1 件質問があり、(デブリ除去用) フィルタにおける Sn 汚染の抑制効率に関する質問であり、これに対しては基板へのスパッタやパーティクル付着の定量評価も行っていると回答された。また、座長からも質問があり、長時間動作における輝度の安定化に対して、繰り返し数の調整以外で可能かとの質問に対して、繰り返し数の調整以外でも安定化できるとのことであった。

3 件目は、NuFlare Technology (NFT) 及と NuFlare Technology America との共著で、NFT の Sugimori 氏から報告された。内容としては、マルチ EB によるパターン検査技術に関する設計指針、及び原理実証機 (POC) の諸特性等が説明された。POC では、5×5 本のビームによる検査感度の実証結果が報告された。また、将来の量産機では、100 本のビームにより、100 x 100 mm 領域の検査時間が 6 時間と示された。Q&A セッションでは、座長から 2 つ質問された。1 つ目として、ビーム本数の上限が尋ねられ、それに対しては、理論的にはシミュレーターにより 100 本とのことであった。2 つ目は、検査アルゴリズムは (光学検査装置の) NPI と同じであるかとの質問であり、それに対しては、光学検査との大きな違いとして、EB 検査では輪郭抽出による検出であるとのことであった。

4 件目は、LAZIN 社の Cho 氏から、微分干渉顕微鏡に関する発表であった。内容としては、基本原理から、彼らの新技術に関する広範囲なものであった。同社では、広くて浅い位相欠陥を検出するために、低倍によるシア量の拡大に関する検討内容が説明された。シア量が大きくなると、P 波と S 波とで同じ位相差となっても、サイズや形状が異なる場合が生じるとのこと、これを判別できるアルゴリズムが開発されたとのことであった。Q&A セッションでは、座長から 1 件の質問があり、実際のマスクブランクス検査時間が尋ねられ、それに対しては、8G の場合は約 30 分と回答された。

[Session 11 : Writing & CD Analysis]

本セッションでは、5 件の一般講演の発表があった。

1 件目は、NuFlare Technology の Matsumoto 氏から、Logic 3nm 世代向けのマルチビームマスク描画装置 : MBM-2000 の開発進捗が報告された。ローカルの描画精度は、寸法精度、位置精度共に 0.7nm レベル、グローバルの位置精度については、レジストチャージや基板温度の補正機能により 1.1nm レベルであることが示された。さらにカーブリニアパターンに対しては、改良された Pixel-level dose correction (PLDC) 機能でのパターン形状向上や、新たなデータフォーマットにより前フォーマット比で 87%減のデータボリュームを達成したことが紹介された。

2 件目と 3 件目は、レーザー描画への高い需要に対応したレーザーマスク描画装置についての報告であった。

2 件目は、Mycronic の Svensson 氏から、新たなレーザーマスク描画装置 SLX シリーズの 3 機種が紹介された。SLX1 は i 線光源で 180nm 世代向け、SLX2 は i 線光源で 130nm 世代向け、SLX3 は DUV 光源で 90nm 世代向けである。3 機種とも同社 OMEGA シリーズと同様の光学系を有し、SLX シリーズでは 15 本ビームを走査して基板上に描画される。オーバーヘッド時間の最適化により描画時間が短縮され、1 重描画では、SLX1 で 23 分、SLX2 で 33 分、SLX3 で 59 分を達成した。SLX3 では化学増幅ブ

プロセスを用いた線幅280nmの描画結果が紹介され、線幅200nm以下のパターン解像も確認されている。

3件目は、Heidelberg InstrumentsのWahl氏から、GenISysおよびIMS chipsとの共同でのレーザーマスク描画装置ULTRAの開発進捗が報告された。ULTRAは、355nmの光源でGLVにより基板上にビームを走査してパターンを描画する。GenISysがMDP/MPCソフトウェアであるMASKERを開発、ULTRAのプロセス補正エンジンを共同で立ち上げ180nm世代以降向けに適用した。またMASKERは複雑な斜め線パターンにも対応している。IMS chipsには現在3台のULTRAが導入され、描画精度が評価されている。さらに次世代のULTRA2も2021年からプロトタイプの開発が開始された。

4件目は、GenISysのHofmann氏からIMS chipsとの共同発表で、EBマスク描画での最適なプロセス条件を導く新たな方法が紹介された。ベースとなるのはiso-focalポイントとなるドーズ量を求めることで、多くの実データを測定する従来の方法に対して、より簡単な手順により求められることが実証結果と共に示された。新しい方法では、プロセスばけ量を考慮して設定した線幅について3つ以上の描画密度で描画した結果（現像後またはエッチング後）を測定することにより、あらかじめドーズ量とプロセスバイアスの関係を求めておいたデータから、最適ドーズ量を求めることができる。

5件目は、AMTCのNesladek氏から、Mean to Target(MTT)のばらつき低減を目的とした分析結果が報告された。数年に亘り計800の製品から得られた約50万点の測定結果を元に、エッチングによる寄与を取り除くことを考え、主成分解析を行った。結果、エッチングでのプラズマ強度の変化とMTTのトレンドの変化に相関が見られた。ANOVAを用いてエッチングによる寄与のモデルを作成したところ、MTTの変化は極めて小さく、さらにエッチング装置のメンテナンス等によるエッチングバイアス量の変化を階段状に捉えたが、予測できないことが分かった。なお、MTTがばらつく主要な要素の解明は引き続き課題である。

4. ベストペーパーの選出

以下の2つの発表についてベストペーパーとして選出した。

3-2 “EUV attenuated phase shift mask: development and characterization of mask properties”

Ikuya Fukasawa, HOYA Group LSI Division, Japan

10-2 “High-brightness LDP source for EUVL mask inspection”

Kazuya Aoki, USHIO INC., Japan

5. ベストポスターの選出

以下の発表についてベストポスターとして選出した。

P-10 “Hydrogen Damage Evaluation of Mo/Si Multilayer using High-Power EUV Irradiation Tool”

Tetsuo Harada, University of Hyogo

6. 最後に

PMJ2021 は COVID-19 感染拡大の影響で活動が大幅に制限され、初の完全オンラインデジタルカンファレンスとなり、発表者への負担も大きく、参加者にも聴講機会の制限を強いることになった。そのような状況下でも大きなトラブルもなく無事開催できたことに関係者の皆様には心より御礼申し上げます。デジタルカンファレンスにしたことで見えてきた課題と、オンデマンドビデオ配信による利便性向上などの利点の双方を認識するに至り、PMJ2022 開催に反映していきたいと考える。

PMJ は現地開催による発表者と参加者、もしくは参加者同士の交流の場として大きな役割があるなかで、次回以降どのようにしていくか引き続き検討していき、参加者により多くの機会を提供する場にできるようにし、また、国内外の大学関係や各種団体などと連携を強めて、テーマ拡大や参加者の裾野を広げるとともに、PMJ が情報発信の場として関係者に強く認識されるような仕組みづくりを目指したいと考える。