

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）2019 について概要を報告する。今年は 2019 年 4 月 16 日から 4 月 18 日の 3 日間、パシフィコ横浜で開催された。今年は 2 年ぶりにパネルディスカッションを開催し、また、トピックスを従来のフォトマスク関連技術だけでなく、半導体関連分野についてもカバーすることで、投稿数の促進、議論やコミュニケーションの拡大を目指した。

2. 投稿論文数と傾向

PMJ2019 の発表件数は 57 件（キーンノート 2 件、招待講演 13 件、オーラル 28 件、ポスター 14 件）であり、昨年の PMJ2018 より 6 件増加した。また、参加者は昨年の 384 名から 398 名と増加し、フォトマスク業界に対する関心が増加していることが伺える。一方、発表キャンセルが 5 件（オーラル 1 件、ポスター 4 件）あり、特にポスターのキャンセルについては今後の対応が必要であると考えている。表 1 にカテゴリ別投稿論文数を示す。

表 1 カテゴリ別論文数

Topic	Presentation Type				Total
	Keynote	Invited	Oral	Poster	
1. Materials for Photomasks					0
2. Fabrication Process Steps and Equipments for Photomasks (Developing, Etching, Cleaning etc.)			3	2	5
3. Photomask Writing Tools and Technologies including Multi-Beam EB writer		1	1		2
4. Tools and Technologies for Metrology/Inspection/Repair		1	2		3
5. Technologies and Infrastructures for EUVL Masks		4	12	4	20
6. Technologies and Infrastructures for NIL Masks		1	4		5
7. Technologies and Infrastructures for FPD Masks		1	2		3
8. Mask Data Preparations, EDA and DTCO			3	1	4
9. Photomasks with RET: PSM, OPC, SMO and Multiple Patterning					0
10. Photomask-related Lithography Technologies				1	1
11. DSA (Directed Self-Assembly) related Mask Technologies					0
12. Strategies and Business Challenges: Cost, Cycle-Time, ML2 etc.	2	1		1	4
13. Patterning Technologies for Semiconductor and Electronic Devices			1		1
14. Semiconductor Manufacturing Technologies					0
15. EB Direct Writing, EB Lithography Technologies		1			1
16. Mask/Lithography related Technology in Academia (Poster Session)				5	5
Others		3			3
Total	2	13	28	14	57

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]

今回最初の発表は Keynote Speech として、Xilinx 社 Nui Chong 氏から「FPGA Capability Expansion Despite Technology Challenges」というテーマでご講演いただいた。内容としては、次世代無線技術 5G や A.I.、自動運転技術など、大容量データを高速で取り扱う必要性が年々増加しており、それらにマッチした Xilinx 社の FPGA デバイス開発に関する最新動向についてとデバイス開発における EUVL の必要性についての講演であった。EUVL に関してはレーザーテックのマスク検査機、NFT ならびに JEOL のマスク描画機、そして EUV レジストは置き換えができず、クリティカルなものであるとの指摘があった。

次に招待講演として、長瀬産業の折井氏よりご講演をいただいた。データサイズは日々膨張しており、2020 年には 44Z バイトに達すると予測されているとのこと。そのため、膨張するデータサイズに対応するには現在のままだと、データセンターの消費電力が不足し、いかに低消費電力にするかが課題であるということであった。解決策の一つとして、全データの 80%にあたる非階層データを階層化すること、人間の脳細胞に似たデバイスチップによる低消費電力を目指し、A.I.の活用により膨張するビッグデータに対応していく必要があるという提言であった。

[Session 2 : Litho & Etching]

本セッションは、今年の PMJ から拡大されたトピックであるシリコンプロセスのパターニングや製造技術に関する新しいセッションである。一般講演 4 件の発表が行われた。

最初の講演は、東京電機大学の堀内先生から円筒材の内側面にレーザーでパターニングするシステムの発表であった。光ファイバー 10 本を一列に束ねた構造物を円筒内に導入し、ファイバー束像をレンズで縮小し、ミラーで 90° 偏向させて円筒内側面に投影してパターン露光を行う。縮小率(焦点距離)と装置サイズのトレードオフを解決するため、ファイバー束を溶解して引き延ばすことで物理的にファイバー束像を小さくした。ファイバー単体で 1/2.25 縮小率を実現した。デモンストレーションとして、300um のコンタクトホールを示した。溶解時の熱の影響によるファイバーへの副作用は見られない。また、最終形態ではステージを回転させる予定とのことであった。

2 件目は、三井化学の Kawashima 氏からマルチレイヤープロセスのハードマスク材として使用される SoC (Spin-On-Carbon) の発表があった。昨年の update となる。SoC は、PGMEA(酢酸 2-メトキシ-1-メチルエチル)に同社によって開発された熱塑性変形ポリマー A、B を溶解させて作成される。A,B の比率(Ohmori parameter)を調整することにより、エッチング耐性と塗布材の密着性を高めた。密着性は水接触角で評価され 70 度とのこと。N7~5 世代で使用されることを想定している。

3 件目は、日立製作所の Ohmori 氏から 機械学習を用いたプラズマエッチングの改善の発表があった。当初、幅 75nm /深さ 100nm のトレンチで機械学習を実施し、エッチング断面プロファイル形状の改善を確認した。しかし、微細化を想定した幅 30nm のトレンチでは、高アスペクト比のためパターン倒れとなり、同条件を適用できない。これを解決するため、機械学習を 2 段階に分けた。Phase1 でパターン倒れのない条件に最適化した後、Phase2 でエッチング断面プロファイル形状の最適化を行う。

Phase2 ではエッチング装置パラメータに加えて、エッチング断面の深さ方向の数か所の位置の線幅 (SEM 像) をピックアップし、機械学習用データとした。Phase2 で機械学習を 7 サイクル実施し、幅 30nm トレンチで所望のエッチング断面プロファイル形成が可能となった。断面プロファイル画像の直接入力を用いた機械学習は今後の計画とのことであった。

最後の講演は、日立製作所の Kobayashi 氏から遠赤外線を用いたプラズマ ALE (atomic layer etching) の短時間化についての発表であった。Si₃N₄(SiN) にハイドロフロライドベースのプラズマを曝露すると、SiN 表面に(NH₄)₂SiF₆ 層が形成される。これを遠赤外線でアニールすると、SiN 表面の単一原子層がエッチングされる。遠赤外線ランプによるアニールは 120°C/15sec で、その後の冷却過程等を含めると、ALE 1 サイクルは 60 秒程度で行われる。冷却はステージに He ガスや水を流すことで行われる。トレンチ構造の SiN を 20nm エッチングする場合、40 サイクルで実現できた。また、TiN、SiO₂ の ALE の可能性も示した。

本セッションの講演はマスク技術にも応用可能な内容であり、有意義であった。来年以降もさらに盛り上がり、定着することを期待したい。

[Session 3 : FPD]

本セッションでは、1 件の Invited と 2 件の一般講演があった。

1 件目の招待講演は FSCE の Murakami 氏からご講演をいただき、コンサルタント的立場から、レジスト材料とフォーカス計測に関して提言があった。FPD 向けのレジストは世代が進んでも同じものを使っている。

ところが、レジストは感度と解像力がトレードオフの関係にあり、目的の感度と解像性に合わせることで、必要な性能の向上が図れることを示した。また、フォーカス成分も、簡単な近似曲線でなく、実測点をしっかり表現するアルゴリズムの開発の必要性を唱えた。感度とコントラストのトレードオフ性能を向上する新レジストを提案した。新レジストの課題は何かという質問には、ドーズが課題であるとのことであった。

2 件目のニコンの Yagami 氏からは、FPD ブランクスの高精細要望に対し、超平坦マスク、計測技術、位相シフト膜の開発を報告した。G10 サイズの表面、裏面、TTV、共に 2μm 以下の報告があった。G10 エリアのブランク反射率、透過率および位相を計測する装置はエリプソ計測を利用。反射率と透過率の再現性は 0.03%、位相計測の再現性は 0.38 度と良好な値。Cr の Attenuated 位相マスクは、膜質の改善によりエッチング形状を改善した。MoSi の Attenuated 位相マスクは、G10 への成膜を行い、Cr 位相マスクと同程度の透過率・位相シフト量均一性であった。i 線より短い波長に対しても対応は可能かとの質問には、均一性含めて対応可能との回答であった。

3 件目の Mycronic の Svensson 氏は、インダストリー 4.0 に関連しては、描画装置のログデータを解析し、装置の Up-time の改善を行い、また、例えば異常な振動を発見しそのときの製品を除外することで、製品の品質を維持した。これら、ビッグデータの解析は、カリフォルニアの CDLe (Center for Deep Learning in electronic manufacturing) と協業している。その他、描画装置と検査装置をコネクションや、お客様先でのデータ転送の課題についても言及した。大型 FPD 基板の高精細化のニーズに対して、精度向上に向けた提言と、開発実証、更に、ビッグデータの活用による生産性向上と、多岐にわたる報告があった。ロードマップはあるかとの質問には、客先への具体的な導入予定は未だないとの

回答であった。

[Session 4 : Writing & Metrology]

本セッションでは、2件の招待講演と1件の一般講演の計3件の発表があった。

1件目の招待講演では、IMS Nanofabrication の Platzgummer 氏よりご講演いただき、第二世代マルチビーム描画装置 MBMW-201 の開発進捗が報告された。既に量産されている第一世代の MBMW-101 が 16nm~7nm 向けであるのに対し、MBMW-201 は 5nm 向けで MBMW-101 の後継機である。電子源の改良で、電流密度は 1.0 A/cm² (101)から 1.5A/cm²(201)へ向上、またデータ転送速度も 120 Gbps(101)から 150Gbps(201)へ上がったことから、スループットが 30%向上した。ビームサイズ変更機構を標準で備えている。精度仕様では、新たに Beam Inhomogeneity Correction(BIC)と Residual Image field distortion Correction(RIC)が適用され、さらに Thermal Expansion Correction(TEC)が適用されることにより、寸法精度<0.7 nm、位置精度<0.7 nm と MBMW-101 に比べて 30%させることに成功した。

2件目の招待講演は EMLC2018 のベストペーパーであり、KLA の Roeth 氏からご講演いただき、レチクル レジストレーション測定器 IPRO7 の新たな機能が報告された。電子ビーム描画装置のビーム偏向誤差やレジストチャージによるレチクル上の局所的な位置誤差が、転写されるウェハの重ね合わせ精度に影響する可能性がある。従来では、そのような 3000 点 (100 um² 範囲) の局所的な位置誤差を測定するのに 3 日間かかっていた。新方式では 1 箇所最大 1000 点の同時測定が可能であり、さらに並列画像処理を用いて 20 分以内の現実的な測定時間で実施完了することに成功した。また本機能の測定再現性 <0.2nm (Max. +3σ) であり、測定レシピも 10 分以内に作成できることが示された。

3件目の一般講演は、NuFlare Technology の Matsumoto 氏から、Logic 5 nm 世代向けのマルチビームマスク描画装置 : MBM-1000 の開発進捗が報告された。300 Gbps で動作可能な Blanking Aperture Array (BAA)より形成される 10nm ビームでの描画精度は、寸法精度、位置精度共に 1 nm レベルであることが示された。Pixel-level dose correction (PLDC)においては、インライン処理による照射量補正で微小パターンのパターンニング解像性の向上が示された。さらに Beam by Beam Correction によって、電子光学系の収差起因によるビーム位置精度エラーをビーム個々のドーズを制御する事で低減し、CDU、LER、位置精度を向上させることに成功した。また新たに開発された Writing Simulator によって、テスト描画なしで各描画パラメータの最適化が可能になった。

マルチビームマスク描画装置に関する 2 件の講演では、次世代で要求される性能を満たすため、さらに技術開発が進んでいることがアピールされた。また、計測技術においても局所的多数点計測が可能になり、次世代マスク描画の精度向上に寄与すると考えられる。

[Session 5 : EUVL I]

本セッションでは、EUV マスクに関する 4 件の発表があり、1 件の招待講演と 3 件の一般講演が行われた。

1 件目の招待講演は、ASML の Schoot 氏からご講演いただき、High-NA EUV 露光機に関する開発状況のアップデート、及び High-NA 光学系の基本構成や諸特性に関しても説明された。またスキャ

ン方向におけるマスク倍率の増大によるフィールドサイズの縮小で必要になってくる繋ぎ露光に関して、様々な露光条件を想定したスループット見積りが示された。さらに方向で異なるマスク倍率の影響に関して、ブランクスの平坦度や欠陥の仕様が示された。

2件目は imec からの一般講演で、第二著者の Gillijns 氏から報告された。内容としては、N5 以降のロジックメタル層に対する EUV のシングルパターンニング適用性などに関する研究報告であった。それによると、N7 では EUV シングルパターンニングが適用できるが、N5 ではパターン方向により (Mx レイヤー)、ダブルパターンニングが必要になる。また、マスク設計に関しては、DTCO の導入により、メタル配線結合部において、マンハッタンでない斜めデザインやカーブリニアが適用されるようになる。さらに EUV リソのプロセスマージンに関しても言及され、ストキャスティック起因の欠陥の影響、及び斜入射照明に起因する悪影響を抑制するための SMO の効果についても示された。

3件目は ASML と imec との共著であり、ASML の Vaenkatesan 氏から報告された。内容としてはマスクのローカル CDU と位置誤差のウェハへの影響に関するものであった。マスク寸法と位置誤差の SEM 計測結果から、Systematic と Random と Meteorology の成分に分解された。マスク上のローカル CDU は Random が約 2.2nm に対して Systematic が 1.6nm 程度であった。位置誤差は逆に Systematic が約 1nm 程度で Random の 0.4nm 程度より 2倍以上大きい。一方、ウェハ上の評価では、LCDU に対するマスクの寄与は約 1nm 程度、ランダム成分が 2.2nm 程度あり、Total の 2.6nm に対してランダム成分が主要因であることが判った。位置誤差に関しても、マスクの寄与は Random の 1/3 程度であり、Total に対する Mask の寄与は比較的小さいことが示された。

本セッション最後の発表は、ASML の Brouns 氏からで、EUV ペリクルの開発状況のアップデートであった。それによると現状のポリシリコン膜に基づくペリクルでは、透過率が 83% であるが、ターゲットとしては、キャッピング層の透過率を高めることで 88% 以上を目指す。また、High-NA 露光機での高出力化の対策として、マスク面の照明幅を 3 倍に広げることで、ペリクル面での光強度の増大は抑制される。寿命に関しては、ウェハ 10,000 枚の露光によって透過率は 0.8% 下がって飽和するとのことであった。また Q&A では寿命に関する質問があり、寿命が不十分なことによる頻繁なリペリの懸念などが指摘された。

[Session 6 : Opening Session Day2]

2日目の Opening Session では Keynote Speech 1 件と Invited Paper 2 件の講演があった。

Keynote では Western Digital の Koike 氏から「Advanced Flash Memory Technology – Now and Future」というテーマでご講演いただいた。APC を活用したこれまでの半導体製造ラインの進化と 2050 年に向けての構想の話があった。将来は AI を活用したフレキシブルなラインとなることを目指している。特に段階的な将来予測においては、大胆な発想に基づくユニークな製造技術が示され、同技術における氏の長年の経験と豊富な知識に裏付けられた、極めて興味深くかつ啓蒙的な内容であった。

1件目の招待講演では、D2S の Fujimura 氏にご講演いただき、EUV リソグラフィとマスクについての動向調査の結果報告があった。EUV への期待が高まっている状況と広い寸法にわたるマスク市場の堅調な伸びが報告された。

2件目の招待講演は NEC の Wakabayashi 氏よりご講演いただき、AI と IoT を加速するための LSI についての紹介があった。膨大なデータを高速で処理する必要があり、FPGA や不揮発性の via-

switch を組み合わせることが有効であることを示した。

[Session 7 : EDA & MDP]

EDA&MDP セッションは Imec の発表が Withdraw されたため、3 件の発表であった。

1 件目の D2S の Pang 氏の発表は現在大きな話題となっている Deep Learning(DL)ベースのソリューションについてのものであり、その基盤となる GPU 技術と半導体産業への応用について詳細な解説がなされた。DL の分野では基礎的なフレームワークが提供されており、多くのプレーヤーの参入が見込まれる。

2 件目の D2S の Pearman 氏から EUV マスクに関する Curvilinear データの必要性が説かれた。光リソグラフィでは ILT レイアウト結果を Manhattan 化されることによるマイナス面は最小限に抑えることができるが、EUV 露光においては斜め入射による影響などで Manhattan 化は不利益が大きく、Curvilinear のままマスクを作成する必要がある。質疑応答でデータボリュームに関する懸念が示され、Spline 曲線による近似手法などの対応策が議論された。

最後の発表は Synopsys の Zepka 氏による MPC モデルに関するもので、Toppan との共同発表であった。MPC のモデルカーネル半径について、半径を大きくしても (250nm) 処理時間が増大しないという成果が報告された。これは驚きをもって受け止められたが、モデルの詳細については明かされなかった。

一昨年は GPU セッションを設けて GPU を基盤とした DL/AI 技術の応用について集中的な議論を行った。半導体・マスク業界では DL/AI 技術への期待はますます高まっており、これからも重点分野としてウォッチしていきたい。

[Session 8 : Special Session (MEMS & PUF)]

特別セッションでは 2 件の招待講演を頂いた。

1 件目は、東北大学の江刺先生よりご講演いただき、先生の研究室で開発されてきた超並列電子ビーム (Massively Parallel Electron Beam) によるウエハ直接描画装置に関してご報告頂いた。開発されているのは Massively Parallel Electron Beam 直描方式と呼ばれる方式で、100x100 アレーのナノクリスタル Si によるエミッターを MEMS の技術で開発した。各々のエミッターは下層の CMOS LSI 部分により ON/OFF 制御される。各エミッターから放出された電子線は 10 μ m \square で、コンデンサーレンズにより 1 μ m \square に縮小され、さらにオブジェクトレンズにより 10nm \square に縮小される。プロトタイプとしてこの電子線エミッターを用いた 1:100 の縮小型直描システムを試作し動作の確認を行った。

2 件目は立命館大学の藤野先生からご講演いただき、PUF (Physical Unclonable Functions) の技術に関して講演頂いた。今後の IoT 社会において、セキュリティーをどう確保するかは重要な課題であり、暗号による認証を第三者に絶対にやぶられないような技術が必須である。PUF とは、物理的にコピーできないデジタル指紋のような技術で高度な認証技術である。トランジスターの閾値のばらつきやイメージセンサーの画素のばらつきを利用した PUF の応用例を紹介頂いた。また、マスクのばらつきはウエハプロセスのばらつきと異なり、システムティックなばらつきとなり、PUF のランダム性を損なうため、マスクのばらつきはさらに小さくしていくことが重要であるとコメント頂いた。

[Session 9 : EUVL II]

本セッションでは 1 件の招待講演と 4 件の一般講演があった。

1 件目は招待講演で、KLA の Preil 氏からご講演いただき、EUV に関係したマスクやウェハの検査装置に関連する講演を頂いた。Blank、Mask shop、IC Fab など、各段階での検査の必要なスペックや問題点を紹介いただいた。ペリクルありでの検査、Stochastic な現象の検査も議論した。

2 件目は Toppan Photomasks の Yonetani 氏から、波長 19x nm を光源とするマスク検査装置の紹介であった。プログラム欠陥マスクを用い、フォーカスによって誤検出と実欠陥検出率が大きく変化していた。検出欠陥を AIMS での観察結果と比較した。

3 件目は EUV Tech の Perera 氏から、EUV の実験室評価ツールについての発表だった。反射率測定装置から、ペリクル透過率測定装置などの開発を続けている。今回、ゾーンプレート結像によるマスク Review 装置の紹介があった。

4 件目は RI Research Instruments の Arps 氏より実験室評価ツールについての発表であった。ペリクル透過率測定装置だけでなく、タルボ干渉計によるレジストパターン形成装置を開発している。

最後に TNO の Wu 氏より、EBL2 というマスクへの高強度 EUV 照射装置の発表であった。EBL2 は露光機と同様以上の強度の EUV 照射が水素環境で可能で、サンプルを取り出すことなく XPS 測定が可能である。今回は 18 mW/mm² の弱い照射条件で EUV マスクを照射し、Ru 膜厚の減少、吸収体高さの増加が観察された。

[Session 11 : Opening Session Day3]

本セッションでは 2 件の招待講演発表があった。

1 件目は東京エレクトロンの Nagahara 氏にご講演いただき、Photo Sensitized Chemically Amplified Resist (PSCAR) の発表があり、EUV 露光による Stochastics 対策に有効であるとした。AI を駆使した Resist Formulation Optimizer (RFO) という技術により、レジスト成分の最適化を短時間で達成することが可能だとした。

2 件目は imec の Philipsen 氏による、N5 ノード向けの EUV マスク用新遮光材料の発表があった。N5 ノードでは従来の Ta を遮光材として使用したマスクでは 3 次元効果が問題となり代替りの材料が望まれる。Ru₃Re、TaTe₂ など候補を挙げ、パターン形成の容易性、EUV 露光環境下の耐久性、洗浄工程に対する耐性などの実験結果を紹介した。

[Session 12 : EUVL III]

本セッションでは EUV マスクに関する 4 件の発表があった。

1 件目の Veeco の Rook 氏は、イオンビームを使った次世代 EUV 吸収体 (Ni、Pt、Pd) のエッチングについて報告した。カーボンのハードマスクを採用することによりエッチング選択比は改善。エッチングイオン種の最適化により吸収体のエッチレートを最大化。Ru キャップ層へイオンの侵入深さを計算し、800V 以下のイオンエネルギーで、膜厚 3nm 以下に留まる。またシミュレーションにより 48nmhp のパターンが製作可能という結論。

2 件目の ASML の Zimmerman 氏は、EUV マスクの規格として、Flatness、CTE (ガラスの熱膨張係数)、裏面成膜エリアの変更を報告した。Flatness は、露光機のクランプ時のレチクル表面の変形

量を考慮した値(KPI; Key Performance Indicator)での新しい管理法の有効性を提示（次の Corning Tropel 発表と関連）。CTE は、これまでの規格（温度に対する熱膨張の変化量）から温度に対する変化量の傾き（微分）での規格を提案。CTE は、SEMI 標準規格の改訂も検討する。裏面規格については、レチクル外周部の巨大異物がクランプ時にレチクルが変形し Overlay に影響する問題があるため、レチクル外周部の異物が検査できるように成膜エリアの拡大（現行 SEMI 規格 146x146 mm→150.3x150.3 mm）が提案された。

3 件目の Corning Tropel の Aronstein 氏は、ASML 提案の Flatness を管理する New KPI に関する解析結果を報告した。ASML より提供された 100nmPV 以下の EUV ブランク 74 枚で計算を行い、73%が KPI 要求を満たす結果。一方、1000 枚単位の Flatness データから ASML 提案仕様と現行 Flatness 規格との相関性を見出そうとしたが、現状では関連性が見えていない。

4 件目の ASML の Zimmerman 氏は、EUV 露光システムで使われる EUV ポッドの新しいデザインについて報告した。従来の EUV ポッドの清浄度は、量産目標を満たしていない。ベースプレートなどからのパーティクル源を特定し、ベースプレート材料やフィルタリング方式などデザインを変更した。さらにペリクル付きのレチクルを認識するためのセンサーやウインドウを設けて、ペリクル付きレチクルの認識ミスによる破損リスクを避けるデザインとした。

[Session 13 : NIL]

本セッションでは招待講演 1 件、一般投稿 4 件であった。

最初発表は招待講演で、東芝メモリの Higashiki 氏よりナノインプリントリソグラフィ (NIL) 技術開発の最新動向について講演していただいた。ArF-i や EUVL での微細化における Stochastic などの問題点を解決する手段の一つとしての NIL の優位性を説いた。NIL ではウェハ上 Sub15nm hp までできており、量産に向けた開発が進んでいるとのことであった。

2 番目の発表は Canon Hayashi 氏からナノインプリント機の発表で、アライメントならびにオーバーレイの精度向上について述べられ、TTM アライメントと HODC の精度向上により XMMO: X=2.9nm, Y=3.2nm、SMO: X=2.2nm, Y=2.4nm が達成できたとのことであった。

3 番目の発表は Canon Asano 氏からナノインプリントのパターン解像性とコストのアドバンテージについての発表であった。パターン解像性については 14nmLS や、1xnmDRAM、2xnmSRAM などの 2D パターンが解像可能であるとのこと。さらに 3D パターンも作ることができ、レイヤー数低減をアピールした。また、コストについては、プロセスコスト、マスクコスト、リソグラフィツールコストを下げることができるということで、ナノインプリントのコストメリットを述べた。

4 番目の発表は大日本印刷 Okawa 氏によるマルチビーム EB 描画機を用いたテンプレートパターンの解像性についての発表であった。14nmhp パターンや 15nm ピラーパターンの作製ができ、また 2D メタルパターンについても作製することができたとのことであった。17nm パターンサイズまではマルチパターンニングすることなく NIL で作製することができるとのことであった。

最後の発表は東芝メモリ Seki 氏の発表で、sub15nm hp パターンテンプレート開発に関する発表であった。SADP を用いることにより、高い解像性を得ることができたというもので、一方、SADP 特有のループ欠陥や寸法変動（ピッチウォーキング）などを“見る目”が必要で検査計測の環境が整い、テンプレート開発を進めていくことができるというものであった。

[Session 14 : CD & Defect Control]

本セッションでは3件の一般講演があった。

1件目は、Advanced Mask Technology Center (AMTC) の Nesladek 氏より、機械学習を用いたマスク製造工程の品質管理について報告があった。機械学習モデルの一種である SVM (Support Vector Machine: パターン認識手法) をマスク上の微小領域の CD 精度管理に適用して、その有効性が示された。

2件目は、Applied Materials と AMTC との共同研究について Kapilevich 氏から発表された。Holon SEM を用いて測定条件 (加速電圧、バイアス電圧等) を変えた場合のレジスト線幅変化を評価した結果、良い条件と悪い条件では測定結果に 1nm の差が生じることが分かり、エッチングバイアスを決定するレジストイメージ測定での、SEM の測定条件の重要性が示された。

3件目は、RAVE 社の Robinson 氏より、同社の DUV フェムトセカンドレーザー修正機 fp-III の欠陥修正能力について報告があった。OMOG マスクに形成した TEOS ピンドット欠陥の修正評価では、欠陥高さ・欠陥発生位置・修正機レーザーパワーと修正能力の関係が示された。EUV マスクに発生した実欠陥の修正評価では、欠陥タイプ 5 種類、計 73 個の欠陥を修正して成功率=77%、失敗率=23% (パターンダメージ=18%、除去不可=5%) であり、引き続き、EUV マスクの修正条件最適化に取り組むと報告された。

4. パネルディスカッション

今回は、"Life goes on for trailing edge tools -Please don't go away yet, industry still needs you!" のタイトルのもと、Kalk 氏 (Toppan Photomasks Inc.)、Hoshino 氏 (SEAJ)、Hosono 氏 (ルネサス)、Hayashi 氏 (DNP)、Nakayamada 氏 (NFT)、Potter 氏 (AMAT) の 6 名をパネリストとして招き、凸版印刷の Kodera 氏をモデレータ、DNP の Abe 氏を副モデレータとして、旺盛な需要の続いている Mature ノードのマスクに対し、マスク製造装置が寿命を迎えつつある問題について、どのような問題が発生するのか? どのような対応が必要なのか? について議論がなされた。

はじめに、トッパンフォトマスクの Kalk 氏から、マスク市場におけるマスクセットの需要とそれに対する描画機の状況が紹介され、Mature ノードでは旺盛なマスク需要が続いているのに対して、描画装置が寿命を向かえつつあり、需要と製造装置間でのギャップが発生しつつある状況が説明された。

次に SEAJ の Hoshino 氏から、中国における 200mm、300mm ウェハ ウエハーラインの動向が紹介され、300mm ウエハーラインにおいても、IoT 用デバイスが採用されるのであれば、マスクは Mature ノードが用いられる可能性が示唆された。

ルネサスの Hosono 氏からはチップメーカーの立場から半導体マーケットの状況紹介と共に、Mature ノードのマスク需要について説明がなされた。さらに寿命を迎えた描画装置の置き換えに関して、装置コストだけでなく、マスクの再認定などにかかる置き換えコストや、そのコスト負担に関する問題点が指摘された。さらには描画機以外にも、ブランクやペリクルなど、材料の面からの供給リスクに対する注意がコメントされた。

DNP の Hayashi 氏からは半導体市場の動向からマスク需要の紹介がなされ、マスク需要と装置間でのギャップ問題について、置き換えコストの負担や、サプライチェーン見直しの可能性、新規参入業者の

可能性、など問題提起がなされた。

NFT の Nakayamada 氏は、5nm ノード以降では Stochastic 問題から低感度レジストを使用するためマルチビーム描画機の必要であるとし、逆に 7nm ノード以下では引き続き VSB が用いられると説明していた。また、NFT における Mature ノードへの対応として、14~45nm ノード向けに EBM8000P/M、EBM8000P/H を紹介していた。

AMAT の Potter 氏からは AMAT のレーザー描画機 ALTA の稼働状況が紹介され、現在全世界でトータル 114 台が稼働しており、もっとも古いもので 25 年前に出荷したものが稼働しているとしていた。また、新規装置を 25 年後の 2045 年までサポートするに当たっては柔軟な対応が必要であると述べていた。最後のまとめとして、装置の寿命問題への対応は業界全体の協力が必要であると締めくくられた。

5. ポスターセッション

ポスターセッションでは 18 件の投稿があったが、4 件がキャンセルという状況であった。その中で、ベストポスターとベストアカデミアポスターを選出した。なお、昨今のポスター発表の投稿数減少は歯止めがかからず（特にアカデミアポスター）、次回については具体的なアクションが必要と考えている。

6. ベストペーパーの選出

以下の 3 つのペーパーをベストペーパーとして選択した。

2-3 “Development of Plasma Etching Process Using Machine Learning”

Takeshi Ohmori, Hitachi, Ltd.

4-3 “Multi-beam mask writer MBM-1000”

Hiroshi Matsumoto, NuFlare Technology, Inc.

5-4 “ASML NXE Pellicle Update”

Derk Brouns, ASML BL

また、以下の二つのペーパーをベストポスターならびにベストアカデミアポスターとして選択した。

○ベストポスター

10A-1 “aquaSAVE Antistatic Agent for Electron Beam Lithography”

Takahiro Mori, Mitsubishi Chemical Corporation

○ベストアカデミアポスター

10S-6 “Development of an EUV and OoB Reflectometer in New SUBARU Synchrotron light Facility”, Keisuke Tsuda, University of Hyogo

以上の中から、新規性、オリジナリティ、インパクトを考慮して、BACUS2019 への Invited ベストペーパーとして、2-3 の日立製作所の Ohmori 氏らによるエッチングプロセスに関する論文と 10S-6 兵庫県立大学の Tsuda 氏らによる New SUBARU における EUV 関連の論文を、また、EMLC2019 には 10A-1 の三菱ケミカルの Mori 氏らによる導電膜に関する論文を推薦した。

7. 最後に

PMJ2019では参加者が398名と年々増加傾向で、投稿数も57件と昨年の51件から増加した。マスク業界動向の情報入手というモチベーションは上がっていると推測される。今年よりトピックスを拡大することで、議論の幅を広げ、より多くの情報が入手できるようにした。また、パネルディスカッションのテーマを従来の先端技術関連から成熟技術関連のほうに目を向けることによって、より現実に近い議論を行うことができた。これらによってPMJが参加者により多くの機会を提供する場となるよう努めた。今後も引き続き、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。

以上