

## PMJ2017 学会報告

PMJ2017 論文委員長  
レーザーテック株式会社 武久究

### 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 PMJ の今年の学会 (PMJ2017) は 2017 年 4 月 5 日から 7 日の 3 日間、パシフィコ横浜において開催された。今回は数年ぶりに 3 日開催とした。従来の 2.5 日開催より半日延長したことで、昼休みを 70 分間としたり、最終セッション終了時も昨年 of 午後 8 時から午後 6 時に早めたことで、時間的ゆとりのあるスケジュールになった。以下、PMJ2017 の概要をまとめる。

### 2. 投稿論文数と傾向

PMJ2017 では全体で計 60 件の発表があり、昨年 (計 63 件) とほぼ同等であった。口頭発表は、一般講演が 29 件、招待講演は 1 件の基調講演を含めて計 11 件であり、ポスター発表は 20 件であった。表 1 にカテゴリー別投稿論文の内訳を示す。

表 1. 投稿論文内訳

Topic	Presen type				Total
	Keynote	Invited	Oral	Poster	
EUV		3	6		9
FPD		1	6	1	8
GPU in mask making	1	2	6		9
Lithography related technologies		1	2		3
MDP, EDA			3		3
NIL			4	1	5
Process		1	2	2	5
Writing		2	2		4
Materials of and for Photomasks				1	1
Metrology Tools and Technologies				4	4
Inspection Tools and Technologies				1	1
Repairing Tools and Technologies				1	1
Mask/Lithography related Technology in Academia				7	7
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>31</b>	<b>20</b>	<b>60</b>

今回、注目すべきセッション構成として、GPUに関連した特別セッションを設けた。これは今回の基調講演がGPUに関連した内容であることから、基調講演に引き続くセッションとして、GPUを用いたフォトマスク製作技術に関する発表を集めたGPU in Mask Makingという特別セッションを設けた。なお、基調講演の内容をGPU関連にしたのは、GPUの高速計算能力が、近年大きく注目されている自動運転技術等の進化に必須のキーデバイスであるからである。

また、カテゴリー別の投稿数に関して、特に発表数が増えたセッションはFPDであり、昨年の計3件に対して今年は計8件となった。またそれによって、特に中国も含めたFPD関連メーカーからの参加者が増えたと推測される。ただし、大学からの発表であるアカデミアは計7件と、昨年の13件から大きく減少した。

### 3. 各セッションの概要

以下、セッションごとに発表内容を概説する。

#### [FPD Photomasks (I)]

本セッションでは、1件の招待講演の他に、描画機、ブランクス検査、ペリクルについて、各1件の一般講演、計4件の講演があった。

最初は招待講演で、三星のJeon氏からFPDマスク開発トレンドと課題についての講演を頂いた。材料面ではブランクス欠陥密度低減、検査感度の向上が重要であるが受け入れ検査機導入により対応している。描画装置に対しては精度やスループットへの要求はもちろん、解像性の点から将来的に露光波長の短波長化が望まれるとした。SRAF検査、ドライエッチ、位相シフトマスク、さらにはAIMSも必要となっており、半導体マスクで培った知見・技術を総動員した開発体制を組んでいる。マスクサイズが大きい為、自動搬送システムの開発も鍵となっている。

2件目はMycronic ABのLarson氏から、次世代描画装置の紹介があった。NAを上げた高解像度のファイナルレンズを開発したが、スループットが落ちる為、ビームを11本から15本に増加させた。CD均一性を向上させるため、新たなビーム強度の調整方法を導入、ムラレベルも向上させた。

3件目はレーザーテックの大原氏から、高感度、高スループットのFPD用ブランクス検査機の発表があった。従来と比べて出力の大きいレーザーを用いることでPSLにて0.3umの感度、検出再現性100%を達成した。ピンホールなどのリアル欠陥に対する自動欠陥分類機能を有しており、オペレーションの負荷を低減したと報告された。

最後は旭化成の丸山氏から、i線専用ペリクルについて発表された。従来、g, h, i線が混じったブロードな波長で露光するのが一般的であったが、近年はi線単独の露光装置が出現してきている為、膜厚均一性を向上させたi線専用ペリクルを開発、パネル上のコンタクトホールCD均一性を300nmから90nmまで改善したと報告された。

## [FPD Photomasks (II)]

本セッションでは、ブランクス関係 2 件、露光技術関係 1 件、計 3 件の一般講演があった。

最初はニコンの安住氏から、ブランクス製作技術に関する発表であった。基板の元形状に関係なく、両面平坦度 $\leq 5\mu\text{m}$ 、最高グレードでは $\leq 3\mu\text{m}$ を達成可能である。また、Flat な形状に限らず、任意の面形状を持ったブランクス製作も可能であり、水平姿勢で発生する自重変形を Cancel するような面形状を作りこむことにも言及があった。計測技術に関しては、自社の大型基板計測装置 ALGS の構造体剛性向上による振動低減等の改善により、計測再現性( $3\sigma$ ) $0.4\mu\text{m}$  を達成したと報告された。

2 件目は信越化学の石塚氏から、大型ブランクス研磨技術が紹介された。局所加工を利用した研磨技術により、G10 含め全てのサイズで、両面の平坦度および TTV がいずれも $\leq 5\mu\text{m}$ 、さらに G6 サイズであれば $\leq 3\mu\text{m}$  のものも供給可能と報告された。パネルの大型化と高精細化の同時進行を背景に、大型ブランクス面精度向上が意識された内容である。

最後は HOYA の今敷氏から、Hole パターンの新型 PSM に関して発表された。メインの Hole パターンの周囲に、Slit 状の高透過位相シフト領域(PS)を形成することで、光学コントラストを向上させたものである。1.5  $\mu\text{m}$  Hole パターンについて、実験とシミュレーションにより評価を行い、その結果、必要 Dose 低減・MEEF 低減・DOF 拡大の効果があることが示された。ただし、新型 PSM は近傍のパターン配置の影響を受けやすいため、実用上はパターンごとに PS 配置を最適化する必要がある。OLED 対応のため Hole の微細化が急速に進んでいる中、本件のようなプロセスマージン拡大技術は、FPD においても今後必須になると思われる。

## [Keynote Lecture]

PMJ2017 のキーノートは、NVIDIA のシニアソリューションアーキテクトである馬路徹氏から、“GPU: the Biggest Key Processor for AI and Parallel Processing” と題する講演を頂いた。CPU と比較した GPU の特徴、最新モデルの性能、GPU による並列処理について紹介された。次に、最近の応用領域として、人工知能と自動運転について説明された。人工知能では多層のニューラルネットの学習処理に CPU では時間がかかりすぎるが、GPU ならば実用的な時間で完了する、自動運転では画像認識、位置判定や経路計画を時間的な制約下で終えるには TFLOPS クラスの計算能力が必要で GPU が適している、と報告された。

## [GPU in Mask Making (I)]

PMJ2017 では、マスク関連で GPU や AI 技術の活用が活発となる中、2 つの GPU Session が初めて企画された。本セッションでは、招待講演として、BACUS パネルディ

スカッションの報告、及び3件の一般講演の計4件の発表があった。

最初は招待講演で、Mentor Graphics の Peter Buck 氏により、BACUS-2016 の” The Impact of Full-scale Curvilinear ILT OPC on Photomask Manufacturing” と題したパネルディスカッションの報告を頂いた。現行の Manhattanized ILT の VSB による描画には、OPC 精度の課題があり、Full Curvilinear ILT マスクの Multi-Beam Writer による描画が望まれる。各プレゼンターの発表の要約と、ソフトウェア、装置などいくつかの課題が紹介された。

2件目は D2S の Leo Pang 氏より、VSB マスクライター用のモデルベースド MPC の体系の概要に関して発表された。ILT や Multi-Beam Mask Writer の動向を考慮すると、MB-MPC は(1)処理対象として Curvilinear ILT と Manhattanized ILT の双方に対応、(2)エッジ位置エラーとショット数の最適化、(3) Multi-Beam Mask Writer への容易な移行、という要件を満たすことが必要である。また、MB-MPC の製品構成が紹介された。

3件目は D2S の Ryan Pearman 氏より、EUV マスクの Multi-Beam Mask Write による描画の課題について発表された。それによると、Mask Process Modeling において実用化が近づいている二つの技術、EUV リソグラフィ及び Multi-Beam Mask Writing による描画の双方に対応することが必要である。また、EUV については周知のように電子ビームの散乱の式として従来の Gaussian 項に加えて exponential 項が必要になり、シミュレーションと補正ソフトウェアに大きな負担となる。また、Multi-Beam については、従来の長方形ショットからラスタ方式に変更されると報告された。

最後は D2S の Bo Su 氏により、マスクのモデルベースド MDP に対応する、シミュレーションベースの Mask Verification について発表された。およそ 10 年前に モデルベース OPC に対応する、OPC verification が必要になった事情とよく似ている。D2S のシミュレーションベース Mask Verification は GPU を使用して高速化されており、いくつかの例について、CPU と GPU の処理時間の比較結果が紹介された。

## [GPU in Mask Making (II)]

本セッションは2つ目の GPU Session で、1件の招待講演と3件の一般講演、計4件の発表があった。

最初は招待講演で、D2S の Aki Fujimura 氏から、eBeam Initiative が昨年行った Survey 結果に関する講演を頂いた。それによると EUV が大量生産に至らないという悲観的な意見は、2015年の15%に対し、2016年は6%に減少した。特に2016年度は、半導体業界の30社以上73名からの回答があり、EUV については60%が量産に使われるとみており、NIL についてもメモリ向けでは40%が使われるとみている。また、68%が MBMW は2018年末までにマスク量産に適用されるとみていることなどが報告された。また、マスクメーカーのサーベイについては10社より回答があり、描画データボリュームが最大16TB までになるとの回答がある中、描画時間については最大10時間、平均4時間と短くなると

の回答結果が得られたと報告された。

2 件目は NuFlare Technology の中山田憲明氏から、Back-Scattering、Fogging, Charging, Temperature など比較的大きな到達範囲をもつモデル要素のキャリブレーションにおいて、AI 関連技術を適用する新しいアプローチに関して報告された。従来は、例えばマスクのテストパターン測長結果から、電子ビーム拡散プロファイル (PSF) を、ガウシアン関数の和によって表す手法が使われている。これには、ガウシアン項の数と精度とのトレードオフなど、いくつかの課題がある。また、AI 分野の手法のひとつである、Convolutional Neural Network をシミュレーションの枠組みとして活用し、Back Propagation 学習手法により PSF 関数の形状を直接求める手法を開発したとの報告であった。

3 件目は D2S の Harold Zable 氏から、マスク描画時の熱の影響による CD の誤差への対応方法についての発表であった。昨年、NuFlare 社の EBM-9500 に対しインラインによる Thermal Effect Correction(TEC)機能が追加された。パターン微細化により、マスクレジストの低感度化、さらに描画時間の増加が問題になっている状況のなか、TEC は描画の高速性と精度を両立させるための技術として開発された。Harold 氏は、EBM-9500 で使用されている、Thermal Effect Correction(TEC)に対する拡張として、VSB ショットの back scattering からの熱発生をも考慮する手法を発表した。この拡張も GPU で高速化され、インライン処理が可能であることを示すテスト結果が紹介された。

最後は D2S の Aki Fujimura 氏から、NuFlare 社製 MBMW である MBM-1000 に適用される、GPU ベースのインラインコレクションについての発表であった。一般的に、マスクライターの補正処理として、インライン補正は TAT やスループットに影響しない面では有利だが、計算時間が描画時間を超えてはいけない制約がある。従来は 10um 以上のレンジの補正をインライン、短いレンジはオフラインという選択が主流であった。Multi-Beam Mask Writer の登場により、インラインで短いレンジを補正する可能性が増した。すなわち GPU による高速化により、補正メッシュが小さい CD Linearity 補正や、マスクの解像性・LER を改善するドーズ変調などもインラインで実現できると報告された。

#### [Writing Technologies]

描画技術セッションでは、2 件の招待講演と 2 件の一般講演があった。

最初は招待講演で、IMS Nanofabrication AG の Dr. Hans Loeschner 氏より、BACUS 2016 Best paper (タイトル: MBMW-101 World's 1st High-Throughput Multi-Beam Mask Writer) としての講演を頂いた。それによると、Multi Beam Mask Writer の原理から実用化に向けた 2012 年からの要素装置 (POC 機) の開発の歴史と技術革新と有用性が示された。

2 件目も招待講演であり、同じく IMS Nanofabrication AG の Dr. Elmer Platzgummer 氏により、昨年に引き続き、Multi beam Mask Writer(MBMW)開発の進展が報告された。

Logic 7nm 以下の世代に視野を向け、120Gbit/s の転送処理能力を備えたデータ処理装置と安定走行を保証するエアークリアリングステージにより 10 時間以内でマスク描画が完了する事が可能であることを発表したうえで、プロダクションへ向けたロードマップが示された。マルチビーム制御技術において電子ビームの前段の加速方式 (5KeV か 50KeV) の違いによる比較が示され 5KeV では APS 等のヒーティング低減効果、X 線や反射電子の影響が少ない。一方で電子銃の高圧を分離する必要がある点などの取扱い性の課題を示した上で、50KeV の方式では光学系がシンプルになる反面、APS に与えるダメージや制御の難しさ等の側面がある事が示された。他方、マルチビーム技術を最先端のマスク製造のみならず、旧世代に応用した場合も有効である事をデータの高速処理面で示し 28 ナノノードへの適用の可能性を示した。更にナノインプリントテンプレートの製造に向けた応用にも言及した。図形寸法精度 1nm ( $3\sigma$ ) を安定的に達成しており、ILT においても解像性は 30nm を示した。補正機能に関しては、帯電補正の開発を完了しており、量産機の評価が順調に進んでいることをアピールした。

3 件目は NuFlare Technology の松本裕史氏により、MBM-1000 開発状況が報告された。 $\beta$  装置を 3 月末に出荷し評価を進めている事と 2017 年 Q4 には商品ベースの市場投入が開始されるロードマップが示された。Logic 5nm 以下の世代への利用に向け、ショット数の増大やレジスト低感度化を背景として、従来の NuFlare Technology 社シングルビーム可変成形(S-VSB)描画法では現実的な描画時間が見込めない可能性があることから、マルチビーム描画方式を採用し 10bit 照射量制御を有した 10nm サイズの成形アレイビームを重ね合わせて(グレービームを生成)描画する方式で、今回 300Gb/s の BAA 開発の完了が報告された。スループット向上に向けたデータ事前処理、補正処理、描画処理のシーケンスを並列処理する事での高速化の手法をタイムチャートで示した解説がされ、5nm ノードに向けた開発が着々と進んでいる事を示す発表となった。両社共、7nm ノード以下のマスク製造に課されたデータボリュームの増大に対する課題、ILT に対する処理並びに、帯電補正等を含めた技術が確立されている事をアピールし、マルチビーム方式によるマスク製造が現実となっている。

最後は Heidelberg Instruments Mikrotechnik GmbH の Steffen Diez 氏により、最先端以外のレイヤーマスク製造に対してスループットを 50%増加させた X,Y 個別インターフェロメーターを搭載した位置精度を向上させたレーザーマスク描画装置に関する発表であった。特徴として、355nm 波長のレーザーを搭載しコスト低減を実現し、新たにステージを開発し制御機能の改良を加えて 6 インチマスクで高精度モード 70 分、高速モードでは 26 分で完了するスループットを得ることに成功した。解像度も 500nm の L&S の写真を示した。レーザーマスク製造装置においても近年、レーザー発振器の半導体デバイス化により低コストで高寿命が達成されており、今後も最先端マスク以外の必要とされるレイヤーでの活用が進むものと思われる。

## [EDA & MDP]

本セッションでは、3件の一般講演があった。なお、今年は GPU in Mask Making(I), (II)でも EDA & MDP 関連の発表があった。

最初は Motivo Data Analytics の L. Capodiecici 氏により、EDA と半導体製造における、設計製造のプロセス最適化の課題と解決方法について発表された。Capodiecici 氏は、IC 設計製造プロセスにおいて、physical design space coverage という指標が重要であり、これをもとにプロセスの各構成要素の抽象化が行え、データ分析と機械学習が適用可能となること、また、歩留まりに影響を与えるのはどのようなレイアウトパターンであり、プロセスの何処に影響するのかが分析可能であると述べた。

2件目は United Microelectronics Corporation の J. Chen 氏により、MDP 処理後のマスクデータが正しいかどうかの自動チェック、マニュアル確認とマニュアル修正のフローの中で、マニュアル確認ステップにおける、定型的な準備処理の自動化について報告された。従来は人手による準備が多かったが、新しい方法ではユーザはシステムが準備した HTML ファイルから、全ての必要な情報に容易にアクセスでき、サイクルタイムの削減につながったと報告された。

最後は ASELT Nanographics の P. Shiovone 氏により、curvilinear パターンのマスクデータ作成について、データハンドリングを簡易化し、またデータサイズを削減する、新しいデータ表現方法についての発表であった。ルールベースやモデルベースの検証も、新しい形式で実行できると報告された。

## [Lithography Related Technologies]

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。

最初は招待講演で、Intel の Singh 氏により、”Computational Imaging: Scaling walls”という題目の講演を頂いた。ムーアの法則の限界がささやかれる中で、氏は歴史を紐解き、また EUVL の適用可能性などから将来においてもムーアの法則について楽観的な見通しを示した。

2件目は東芝メモリの Yuki Watanabe 氏によるディープラーニングを使用した Compact なリソグラフィモデルの開発手法に関する発表があった。エッチングシミュレーション時の Threshold について、CTR(Constant Threshold Resist),VTR(Variable Threshold Resist)それぞれの限界が解説され、ニューラルネットワークを用いた学習手法で最適な解が得られるとの見解が示された。また GPU を用いた実装により処理速度が大幅に向上したと報告された。

最後は KLA テンコールの前中氏により（ただし予稿集で筆頭著者である Samsung Electronics の Jongju Park 氏の代理発表）、マスク検査装置の最新フォーマットについて発表された。既存の 5xx フォーマットと比較して、K39 と呼ばれる最新フォーマットではデータボリュームが大幅に圧縮され、また擬似欠陥数が 1/100 にまで低減するなどの効果

が得られたと報告された。近年、ソフトウェア技術をベースとした発表が増加傾向にある。これは MBW の登場を背景とした ILT の採用に伴うデータの複雑化、EUVL の量産化を間近に控えた RET 技術の必要性増大に加え、計算機技術分野から GPU デバイスによる新コンピューティング手法の進化、およびディープラーニングなどビッグデータ解析技術の採用が相まって、マスク製造の分野でもソフトウェア関連技術に大きな注目が集まっているものと思われる。これからも PMJ として議論を活性化させていく必要を感じる。

#### [Processes]

フォトマスク作製プロセス技術のセッションでは、1 件の招待講演と 2 件の一般講演が行われた。

最初は招待講演で、ASML の Jo Finders 氏よりウェハーリソグラフィとエッチングの相互作用に関して 28nmCMOS プロセスを例とした講演を頂いた。”golden” ホットスポットと定義されたパターンを 88nm~150nm まで寸法検証された。”golden” ホットスポットでは場所により大幅にエッチング後に変動する箇所が確認された。

2 件目は AMTC の H. Olga 氏より、PSM マスクに於けるハードマスクエッチングの効果に関して報告された。実験計画法(DoE)を用い、各種パラメータを最適化した結果が報告された。

最後は AMTC の H. Olga 氏より、EUV マスクに於けるエッチングの CD 特性の確認結果に関しての報告であり、2つの工場での確認結果が比較された。

#### [EUV Masks (I)]

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。

最初は招待講演で、IMEC の Rik Jonckheere 氏から、欠陥転写性評価に関するこれまでの 10 年の成果と最近の欠陥修正手法等の講演を頂いた。光学検査や ABI (Actinic Blank Inspection) により検出されたブランク欠陥の転写評価から ABI がすべての転写欠陥を検出できることが示された。また、ABI 検出欠陥の強度が転写性 (転写確率) に相関があることも確認された。さらに、ML 欠陥を回避する方法として、①欠陥のサイズから CD 変動を予想して、マスク上の吸収体パターンの CD をマスクリペアー技術により修正することや、②パターンシフトにより ML 欠陥をパターン下に隠すことを実証したと報告された。

2 件目は三星電子の Chang young Jeong 氏から、EUV マスクを中心として開発状況が報告された。EUV ブランク欠陥は、改善が進んでおり、FM (Fiducial Mark) を使いブランク欠陥を吸収体パターン下へ配置 (欠陥回避) する方法が紹介された。また、マスク上の欠陥の転写性については、自作された EUV 光を使った顕微鏡を用いて有効にレビューできることが示された。

3 件目は EIDEC の山根氏から、EUV 光による Dark Field Image を使った欠陥転写のシミュレーション解析の結果が報告された。スルーフォーカスを通した Dark Field Image



により得られた欠陥強度がウエハの CD 変動量と良い相関があることが確認され、ML 欠陥の Dark Field Image より CD 変動が予想できることが示された。

### [EUV Masks (II)]

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。

最初は招待講演で、ASML の John Zimmerman 氏から、ASML で開発している EUV 用ペリクルに関連する講演を頂いた。現在は Poly-Si メンブレン上に SiN キャップとメタル層をつけたペリクル膜で、透過率 80%、均一性 1%、CDU へのインパクトは  $3\sigma$  0.44nm (ペリクル無し) に対し、0.51nm (ペリクル有) を達成している。開発中のペリクルではキャップ層を改良し透過率 88%以上、研究段階の物ではメンブレン材質を見直し透過率 90%以上を目指し、またペリクル周辺技術として、ペリクル対応の二重ポッド、ペリクルの脱着装置、装着ピンのマスクへの装着装置及び除去装置などが報告された。

2件目は EUV Tech Rupert Perera 氏から、HVM に向けた EUV 反射率計に関して発表され、高い計測精度や増加異物品質、ペリクル付きマスクへの対応などが紹介された。また、ペリクル膜単体での透過率計測装置も紹介された。

最後は TNO の Norbert Koster 氏から、EBL2 の状況について発表された。EBL2 は EUV 照射により、量産時に懸念されるリスクの評価を目的とした装置で、Sn を用いた LDP の EUV 光源及び H<sub>2</sub>、He、Ar などのガスライン、クリーニングシステム、さらにエリプソメータ、XPS、反射率計などの分析装置が付属している。また、評価サンプルは 6025 レチクルの他、ペリクル付きレチクル、小片のサンプルにも対応可能となっている。装置は 2016/12 に組みあがり、発表では XPS の分析結果が紹介された。

### [EUVL Masks (III)]

本セッションでは、招待講演1件と一般講演2件の発表があった。

最初は招待講演で、ZEISS の Sascha Perlitz 氏より、EUV マスクの保証に関する講演を頂いた。ZEISS では EUV-AIMS の開発を行っており、すでに一台目を客先に出荷し、プロトタイプと出荷号機の2台が ZEISS 内工場稼働中である。実際に EUV マスクのプログラム欠陥を評価した結果などが報告された。また位置精度の保証も重要であると述べられた。

2件目は AMTC の Pavel Nesládek 氏より、EUV マスクのリペアに関する発表で、EB リペアにおける Ru 保護膜へのマスクプロセス (エッチングの均一性、洗浄によるダメージなど) が及ぼす影響に関して報告された。

最後は兵庫県立大原田氏より、CSM (Coherent Scatterometry Microscope) に関する報告であった。高次高調波を光源に用いたスタンドアロン CSM (NA=0.14) では 88nmLS を、シンクロトロンを光源に用いた MicroCSM (NA=0.27) では 30nm の欠陥まで解像できたことが報告された。

## [NIL]

昨年の NIL セッションはスペシャルセッションであったが、今年よりレギュラーセッションとなり、4件の一般講演があった。

1件目は CANON 上野氏により、インプリント装置の精度向上に関して報告された。オーバーレイ、スループット、欠陥、パーティクルそれぞれについて向上しており、ウェハーインプリント装置 NZ2C については、スループットがレジスト塗布の条件最適化により従来の 60wph から 80wph に向上し、オーバーレイがディストーション補正の向上で  $3\sigma$  で 4.0nm を達成したと報告された。また、レプリカインプリント装置 NR2 では、位置精度がマスクのチャックやチルトの精度向上により X:1.1nm/Y:1.5nm を達成し、パーティクルコントロールについては装置内のエアフロー改善や発塵抑制により 3000 サイクルまでは異物付着ゼロを達成し、これらの精度向上により量産対応 (HVM) のインプリント装置を提供できる状況になったと報告された。

2件目は大日本印刷の市村氏により、NIL テンプレート開発状況が報告された。L&S パターンについてはフルフィールド (26x33mm) の 2Xnm のレプリカ作製が成功し、欠陥 (0.6pcs/cm<sup>2</sup>)、面内寸法均一性 (1.47nm)、位置精度 (X:1.91nm/Y:1.80nm) とともに精度向上し、さらに HP16nm マスター、HP19nm レプリカについても作製が可能であることが提示された。また、ホールパターンやピラーパターンについても開発を進めており、18nm ホールパターンおよび 18nm ピラーパターンは解像性に更なる改善が必要であるものの作製可能であるとのことが提示された。

3件目は東芝メモリの熊田氏より、電子線 (EB) による NIL テンプレート欠陥修正について報告された。マスターテンプレート上のホールパターンにおいて、ホール消失欠陥を修正し、さらにレプリカに転写した際に形成されたピラー形状 (寸法) を評価することで、マスター上での修正の条件最適化を図ったというものであった。マスター上のホール修正では修正にて形成されるホールの寸法だけでなく深さ方向についてもコントロールすることが重要であることが示された。

最後は CANON の米川氏により、インプリント装置内のパーティクルコントロールによるテンプレートの長寿命化について報告された。エアカーテンの最適化、部材表面からの発塵低減、帯電板設置による浮遊異物の吸着などの施策により発塵精度が向上し、2013 年ころは 10pcs/wafer だったものが 2017 年には 0.0008pcs/wafer (=1250wafer で 1 個) を達成できたとのこと。そのためテンプレート寿命は従来 10 ロット程度であったものが、2017 年には 40 ロットを見込んでおり量産に適したものになると報告された。

## 4. パネルディスカッション

2017 年パネルディスカッションは、“Race for Volume Production” - Who is Closer to Goal, EUVL or NIL? とし、EUV と NIL のどちらが量産体制により近づいているかをそれ

ぞれの立場から 3 人ずつパネリストに発表していただき、レースを模す演出を試みた。まず EUV チームからは GLOBALFOUNDRIES の Erik Hosler 氏、ASML の Jim Wiley 氏、そして Photronics の Bryan Kasprowicz 氏にそれぞれデバイスメーカー、露光装置メーカー、マスクメーカーの立場より発表して頂いた。同じく NIL チームから同様に東芝メモリの東木達彦氏、Canon の Douglas Resnick 氏、DNP の林直也氏に発表して頂いた。演出としてデバイスメーカーの 2 名に発表していただいた後に一回、装置メーカーの 2 名に発表して頂いた後にさらに一回、そして最後にマスクメーカーの 2 名に発表していただいた後に一回、合計 3 回聴衆による投票を行いどちらのチームが優勢かを判断していただいた。最後の投票のみが最終的にチームの勝敗を決めるというルールなのだが、途中 2 回の投票も行うことによりレース序盤、中盤の優劣を演出し最終投票に向けて議論を盛り上げた。NIL チームの発表ではウエハ転写装置のスループット向上、欠陥率およびテンプレートの寿命などが課題としたが、それらは改善されつつあることをグラフで示した。プロセスコストの抑制が FLASH メモリ製造では最重要とし、これらの課題が解決されれば NIL は低コスト生産に大きく寄与するとした。EUV チームの発表では毎時ウエハ 100 枚を超える EUV スキャナモデルを紹介し、またかつて大きな課題であったペリクルもデタッチャブル方式を採用し、いよいよ量産体制が整ったことを強くアピールした。その上で良品ブランクス供給、検査、測定、修正などマスクまわりのインフラ整備に引き続き力を入れる必要があると要望した。レース展開としては 1 回目投票で NIL にリードを許したものの 2 回目投票で EUV が逆転し、最終投票では NIL の 55 票に対し EUV が 65 票を獲得しそのまま逃げ切った。

## 5. ポスター

ポスターセッションでは計 19 件の発表があり、内 7 件がアカデミア、すなわち大学発マスキンググラフィ関連技術であり、今年も一般セッションとした。アカデミアの発表の質的にはどれも高い内容であったが、昨年の 13 件から 4 件も減ったことが課題となった。

## 6. ベストペーパー選出について

学会後の論文委員会において各論文委員と協議した結果、下記 2 つの口頭発表をベストペーパーとして選択した。

[A1] “Electron beam lithographic modeling assisted by artificial intelligence technology” by Noriaki Nakayamada, et al., NuFlare Technology, Inc. (Japan)

[A2] “New PSM optimized for stable resolution of fine hole in FPD” by Nobuhisa Imashiki, et al., HOYA CORPORATION (Japan)

また、ポスターセッション終了後に採点を集計した結果、下記[B1]をベストポスターとして選択し、下記[B2]をベストアカデミアポスターとして選択した。

[B1] “The capabilities of measuring cross-sectional profile for hole patterns in nanoimprint templates using small-angle X-ray scattering” by Kazuki Hagihara, et al., Toshiba Corporation (Japan)

[B2] “Fabrication of Cylindrical Micro-Parts Using Synchronous Scan-Projection Lithography and Chemical Etching” by Kaiki Ito, et al., Tokyo Denki University (Japan)

以上の中から、発表内容を総合的に判断し、EMLC2017には上記[A1]、BACUS2017には上記[B1]と[B2]を派遣することになった。

## 7. 最後に

PMJ2017では、発表件数は昨年と同レベルであったが、PMJ事務局からの報告によると、参加人数は375名で、昨年より33名も増加した。これはFPD関連セッションへの参加者が増えたことが主要因と分析されている。FPDでは年々微細化が進んでいることから、PMJへの期待と責任が増していると考えられ、今後もFPDには注力していく必要がある。一方、特別セッションとして企画したGPU関連の多数の発表も参加者を増やした要因と考えられ、今後も関連技術の動向を注視していく必要がある。ただし、課題としては、アカデミアの発表件数が低下したことであり、次回はアカデミアへの投稿促進にも注力していきたい。

以上