

PMJ2015 学会報告

PMJ2015 論文委員長
大日本印刷株式会社 吉岡信行

1. はじめに

2015年4月20日から22日にかけてパシフィコ横浜でPMJ2015学会が開催された。以下にPMJ2015学会についての報告を行う。

2. 投稿論文数と傾向

PMJ2015では全体で72件の発表が行われた(特別ポスターセッションを含む)。そのうち、Oral発表が27件、Poster発表が36件、招待講演が9件である。表1に投稿論文の内訳を記す。

表1 投稿論文内訳

Topic	Presentation type					TOTAL
	Keynote	Invited	Oral	Poster	Special Poster	
Keynote	1					1
Invited		8				8
DSA			1			1
EUVL Masks			13	5		18
FPD Photomasks			3			3
Inspection and Metrology				4		4
Lithography Related Technologies				2		2
Material and Process				3		3
MDP&OPC			4	4		8
Photomask Fabrication Processes			4			4
Writing Technologies			2	3		5
Special Poster					15	15
TOTAL	1	8	27	21	15	72

PMJ2015は2.5日開催で、初日の午後に大型マスク (FPDマスク) 関係の Preliminary セッションを設定し、2日目以降を半導体用マスクの本セッションとして、2日目のが光マスク関係、3日目のが EUV マスク関係の構成とした。

テーマごとにみると、例年同様 EUVL 関連の発表が多く、Oral 発表の半分近くを占めている。EUVL マスク技術立ち上げへの関心の高さが引き続き伺われる。また今回、要素技術では、マルチビーム方式の描画装置関係の発表が多く、この技術が実用化に向けた開発に入ったことが伺える。一方、初日午後の大型マスクセッション (FPD Photomasks) では、4件の発表がなされた。この日はこのセッションと連携して大型マスク関係のベンダーセミナーも開催され、内外の

大型マスク関係者が多く参加し、大盛況であった。

また、昨年度に引き続き、PMJ 参加者の裾野を広げるべく特別ポスターとして、「Mask/Lithography Related Technologies in Academia」を開催し、大学関係からの投稿、参加者を募り、15件の発表があった。

3. 各セッションの内容

[FPD Photomasks : Preliminary]

FPDのセッションからは4件の発表があった。最初に招待講演としてパネルメーカーであるジャパニーズプレイから発表があり、金谷氏により LCD パネルの高精細化のトレンド、設計・プロセスの課題が提示された。微細化に伴い、OPC や位相シフトマスクが必要となっていることに加えて、LCD パネル特有の現象としてムラが挙げられた。ムラは、描画装置の系統的エラーに起因する微小な寸法誤差の周期性が、パネル上で縞状模様として認知される現象である。ムラの品質保証として、従来の目視検査に加え、機械検査が導入されはじめています。

次にマイクロニックの M.Wahlsten 氏から次世代高精度描画装置である Prexision80 と、位置精度/重ね合わせ測定装置 Prexision-MMS の性能が提示され、両者を組み合わせることで次世代高精細ディスプレイに求められる重ね合わせを保証可能とした。

エスケーエレクトロニクスの葛和氏からは高精細パネル向けマスク技術について概要が提示されたが、課題の一つとしてシェリフなど OPC パターンの解像性を上げる為に描画装置のグリッドサイズを現状の 0.25um から小さくする必要性が提起された。また、各種課題解決の為に FPD マスク・リソグラフィ業界内における連携の重要性が強調された。

HOYA の剣持氏からは、ブラックスのバックサイドフラットネスが重ね合わせに与える影響について報告があった。フラットネスの異なる試作マスクを用いた重ね合わせ露光実験の結果から、フラットネスは 5 μm 以下が必要との結論となった。

[Opening セッション]

PMJ2015 の本セッションは、Intel の M.Phillips 氏のキーノートスピーチでスタートした。

M.Phillips 氏は Intel におけるリソグラフィ技術の主幹開発者で、今回、「Mask challenges in complementary EUV/193i patterning」というタイトルで、Sub-10nm のリソグラフィの方向性、そこにおける

課題について講演いただいた。この中で、193i によりラインパターンを形成し、EUV によりラインのカットおよびホールを形成する Complementary EUV/193i patterning を推奨し、この方式の優位性と課題・解決策を示した。

[DSA]

Session3 の DSA セッションは、発表件数 2 件 (EMLC ベストペーパー1 件とレギュラーペーパー1 件) でいずれも IMEC Dr Bekaert の発表であった。1 件目の方は、DSA フローとテンプレートの最適化に関する発表で、これまで作成してきた DSA パターンの紹介であった。主な課題としては、欠陥、パターン位置精度、パターン密度依存性ということで、また、3D 解析や測定技術の向上が求められるとのことであった。

2 件目は、N7 ロジック Via 工程における DSA 適用による多重分割パターンニングの分割数低減の発表であった。通常は 4 分割パターンニングとなるところ、DSA テンプレートの最適化で露光分割数を減らすことができるということである。また、M1/M2 のパターンピッチを変えることにより、更に分割数を減らすことができるとのことであった。今後の微細化により分割数が増える傾向であるが、DSA 適用により分割数低減のメリットがあるというものであった。

[Writing Technologies]

描画技術セッションでは、Invited と Regular から各 2 件、計 4 件の論文が発表された。

Invited の1件目は、Photomask Technology 2014 の Best Paper で Intel Frank Abboud 氏の発表。EUV、あるいは Inversed lithography Technology の大容量データ時代に対応するためのデータプロセスへの要求がなされた。描画時間の悪化が懸念されるため Multi Beam Mask Writer (MBMW: マルチビームマスク描画装置)が必要となり、描画パターンの Curvilinear 表現、また、描画データフォーマット共通化の重要性などが説かれた。

もう1件は、IMS Nanofabrication Elmer Platzgummer 氏による MBMW 開発の進展報告。寸法、位置描画精度については Logic7nm 世代の仕様達成を示した。さらに、補正機能の開発状況、開発ロードマップの報告があった。今年の大きなマイルストーンは、データパスのスピードアップによる描画時間の目標達成。

Regular では、NuFlare Technology 菅沼 瑞奈氏から、レジストの低感度化に向け、Single Variable Shaped Beam Mask Writer(単一可変成形ビームマスク描画装置)の対応技術として、レジストヒーティング補正技術開発の報告があった。寸法精度を改善させ、かつ、描画パス数を低減させて描画時間を短縮することが可能となる。

最後に、IMS Nanofabrication Daniel Chalom 氏から MBMW のローカル位置精度に関する発表があった(上記 invited の MBMW の詳細内容報告の位置づけ)。MBMW は、描画アーキテクチャの特徴から、簡素な十字パターンより、コンタクトホールアレイのような多数パターンを含んだ in-die を測定することに意義がある。測定精度と測定時間を向上させた KT 社 IPRO6 を用いて測定し、目標となる Logic7nm 世代に対して十分な精度が示された。Butting 領域を含んだ測定はこれからとのこと。

[Photomask Fabrication Processes]

フォトマスク作製技術のセッションでは、計 3 件の Regular 論文が発表された。(計 4 件の予定であったが 1 件は発表者が当日現れず。)最初に、SK Hynix H. Namkung 氏より、フォトマスク修正にて発生した致命的な Qz ダメージを、TEOS 堆積により再修正する手法の評価結果が報告された。

次に、Carl Zeiss T. Kemen 氏より、微細パターンを高速で観察できる、マルチビーム SEM の開発状況、および、マスクパターン画像撮影結果についての報告があった。

最後に、三星 W.-S. Ahn 氏より、ArF リソグラフィにおけるウエハ転写特性を改善させる高透過率 PSM ブランク、および、マスク解像性を改善させる上層のハードマスクの検討、評価結果についての報告があった。

[MDP&OPC]

MDP&OPC セッションでは、マスク描画データ処理の最適化技術を中心に 5 件の発表が行われた。Aselta 社の Schiavone 博士による招待講演では、モデルベースの MDP 処理の重要性とその背景が詳しく語られ、Dose 制御とパターン変形の 2 つの手法をミックスすることでより高い補正制度が得られることが示された。また続く Mentor 社の Buck 氏の発表ではやはりモデルベースの MPC(Mask Process Correction)手法が示され、Dose 諸調数による精度の変化の実験結果が伝えられた。

Canon Nakayama 氏らの発表においては、以前から提案のあった 1D レイアウト手法に関して、3 つの

マスクによるコンタクト層の分解露光結果が報告され、1つの欠陥を除いてはほぼ満足のいくコンタクト層の生成が観察された。最後に Samsung の Choi 氏より、マルチビーム時代の EB データ処理に関する展望が語られ、データボリュームの問題がさらにクローズアップされる可能性が高い中で、業界として標準フォーマットを構築していく必要性が示された。Choi 氏による OASIS.FLAT フォーマットの提案は一考に値する興味深いものと思われる。マルチ Dose および Beam ライタの到来を迎えようとしている現在、今後ますます MDP 技術発展の必要性が高まることが予想される。

[BACUS パネル報告]

大日本印刷の林氏からは BACUS2014 でのパネルディスカッションのまとめが報告された。半導体の微細化により、今後マスク上で求められるパターン形状も曲線が用いられて複雑化し、データボリュームも増大すると考えられる。このような状況では、特に Metrology と欠陥検査において、既存技術では困難が予想されると述べられた。

[EUVL Mask (1)]

1 件の招待講演と 2 件の一般講演があった。兵庫県立大学の木下教授からは、ご自身がこれまで 30 年間に亘って研究されてきた EUV リソグラフィ関連技術とその歴史について振り返った。マルチレイヤーミラーの製造が最も難しかった技術として触れられるなど、これまでの多大な研究成果が紹介され、非常に興味深い報告であった。

兵庫県立大学の原田助教からは、直近開発された X 線で非接触計測できる顕微鏡を用いた位相欠陥の評価結果が報告された。200nm の位相欠陥が、精度良く確認された結果が紹介され、今後の実用化が期待される報告であった。

Globalfoundries の Mangat 氏からは、マスク検査、ウエハ検査及び SHARP を用いた欠陥転写比較が報告された。EUV ブランクからマスク欠陥、そしてウエハ欠陥への関連性が分類された結果が紹介され、非常に興味深い報告であった。

[EUVL Mask (2)]

EUV マスクに関して、4 件の論文が発表された。内容は検査関連が 3 件、ML 加工構造の転写特性報告が 1 件であった。EIDEC N.Takagi 氏からは IMEC 共著で、ABI で検出した欠陥の欠陥シグナル強度とウエハ

転写性についての結果が報告された。

凸版印刷 K.Seki 氏からは IBM との共著で、自然欠陥に似せた設計欠陥マスクを使った検査特性の報告がなされ、現在の 193nm 光検査機を使ったブランク検査では、十分な検査感度が得られておらず、パターン付き検査では更に検査感度が落ちるとしていた。

更に、凸版印刷 G.Watanabe 氏からは IMEC と共著で、ML 掘り込み型遮光棒の欠陥について、転写への影響の調査結果が報告された。ML トップの欠陥はかなり小さな欠陥でも転写に影響があり、吸収層トップの欠陥では、欠陥の転写はないものの、サイズの大きな欠陥ではパターン寸法に影響が発生していることが報告された。

IMEC L.V.Look 氏からは ASML, Carl Zeiss 共著で ML 加工型マスクの転写性について、通常吸収層との比較データが報告された。通常吸収層の転写結果では H-V バイアスが発生しているのに対し、ML 加工型では H-V 差は殆ど発生していないことが報告された。

[EUVL masks (3)]

1 件の招待講演、及び EUV ペリクルに関する 3 件の発表があった。招待講演は ASML の Dr. Jo Finders 氏により、EUV マスクの 3D 構造による Phase の影響に関してシミュレーションにより最適化されたアブゾーバー膜の検討結果等が報告された。一般講演の最初の発表も ASML の Dr. Carmen Zoldesi 氏からで、EUV ペリクル開発に関する最新状況が説明された。特に今回は着脱式 EUV ペリクルの構想が詳しく説明された。次の発表も同じく ASML の Dr. Florian Dhalluin 氏からで、放熱性が良いとされるグリッド型 EUV ペリクルの検討に関して報告された。最後の発表は、以前から EUV ペリクルに関する様々な研究を行っている Hanyang 大学の Ms. In-Seon Kim 氏からで、EUV ペリクル付きパターンマスクの露光特性のシミュレーション結果が詳しく報告された。

[EUVL masks (4)]

EIDEC 関係の論文が 4 件。前半 2 件は、荏原製作所との Projection Electron Microscope (PEM) 方式による EB マスクパターン検査、後半 2 件は、Actinic Blank 検査関連。

EIDEC 平野氏は、hp11nm 世代への拡張性について、照明系の改善、エリアイメージセンサと像偏向機能を用いた信号処理系の組み合わせにより検査時間 8 時間@100mm sq.を達成見込みであると報告。また

Image processing アルゴリズムの改善例として Ta 吸収体 hp44nm Line Space 中の 16nm サイズの欠陥検出結果が示された。

EIDEC 飯田氏は 20 ペア構造の多層膜掘り込み型マスクの PEM 方式での検査感度をシミュレーションにより検討。多層膜の下層に、多層膜に比べて 2 次電子放出効率の低い導電層を挿入することにより、EB のコントラストが向上でき、材料の最適化により 16nm サイズの欠陥検出が可能なレベルまで S/N を改善できると報告した。

これまでの ABI HVM tool にはウエハに転写するにも関わらず検出できない欠陥が存在するという課題があったが、EIDEC 山根氏は照明系 NA と欠陥形状及び散乱光の角度の関係の解析から hp16nm 世代の検出感度を満足するには NA を現行の 0.07 から 0.1 に拡大することが必要であると報告した。Lasertec 鈴木氏は実機の照明系 NA を ~0.1 に改造した結果 hp16nm 世代で問題とされる欠陥の殆ど全てを検出可能になったと報告した。

EUVL HVM の先送りにより、ブランク、マスク検査に要求される技術レベルは非常に高くなっているが一日も早い実用化が望まれる。

4. パネルディスカッション

今回は、"EUV or 193i, who wins the center stage for 7nm node HVM in 2018?" というタイトルのもと、2018 年に量産を迎えるであろう 7nm ロジックノードにおいて EUV もしくは 193i のどちらがセンターステージ(主役の座)を勝ち取るのか活発な議論を行った。

パネリストとして Frank Abboud (Intel)、Laurent Tuo (TSMC)、Pawitter Mangat (Global Foundries)、Jo Finders (ASML)、大和壮一 (ニコン) そして小西敏雄 (凸版印刷) を招き、マスクのユーザ、露光機メーカー、マスクメーカーそれぞれの立場から議論を展開していただいた。

Abboud 氏は EUV 露光機の最新のテスト結果に好感触を得ており、EUV については It's a question of "when" rather than "if" (来るか来ないかというよりいつ来るかという段階に入っている) と宣言した。ただしそれに伴うマスクのインフラ、特に検査、ペリクルなどに課題が残っていると警告した。

Tuo 氏は 2018 年に EUV を適用するためには遅くとも 2015 年の半ばまでにはマスクプロセスを固定し

なければならず、その目処が立っていないとの見方を示した。逆に EUV でも 193i でもなく、EBDW (電子ビーム直描) も 7nm 世代においては選択肢に入るとつけ加えた。

Mangat 氏は EUV 露光機の信頼性 (主に稼働率) およびインフラにまだ課題を残しており 2018 年の導入は時期尚早であり 2019 年かそれ以降が妥当だという考えを示した。

Finders 氏は、7nm ノードにおいて 193i は 3 回、4 回露光を使わなければならないオーバーレイ制御は非常に複雑になりそれが EUV の 1 回露光により緩和されると主張した。そして ASML がある 1 社と EUV 露光機 15 台分の契約を結んだという、まさに直前に入ってきたビッグニュースを披露した。

大和氏は 7nm ノードにおいては EUV と 193i はコスト的にはほぼ同等であるという計算結果を示した。ただしその先のノード、5nm、3.5nm などにおいては EUV がコスト的に優位になるだろうという予想を示した。

小西氏は EUV マスクの品質保証のための検査を製造段階ごとに選択肢を示し、実現のためには業界全体で取り組むことが重要であると訴えた。その上で最終保証としては Actinic Pattern Inspection がベストの選択であるという考えを示した。

フリーディスカッションでは 193i ではデータ容量の増大が製品のサイクルタイムに深刻な影響を与えるだろう、EUV ペリクルは HVM では必須だが 1000°C を超える温度上昇にはたして耐えられるのか、また EUV マスクそのものの HVM 環境における耐久性などの懸念点を取り上げられた。全体としては、EUV はさまざまな課題がまだ残るものの実現に向けて着実に進んでいるという印象を受けた。EUV は実現するものという前提で量産における諸々の課題に人々の議論の焦点が移っていることがそれを裏付けている。

5. 特別ポスター

本年度は昨年度に引き続き、PMJ 参加者の裾野を広げるべく特別ポスターとして、"Mask/Lithography Related Technologies in Academia" を開催し、大学関係からの投稿、参加者を募った。

PMJ 組織委員長の堀内先生を中心に、幅広い分野の大学研究室に声をかけていただき、15 件のポスター発表が集まった。大学院生中心の若手研究者による発表で、内容は基礎研究が中心であるが、半導体・マス

ク製造の分野でも将来応用が期待されるものが多く、活発な議論がなされた。この中から、Best Academic Poster Presentation を選出した。

来年度以降は、定常的なポスターセッションの形態を検討し、海外からの発表も呼びかけ大学関連からの発表・技術交流は継続したいと考える。

6. ベストペーパー選出について

以下の2つのペーパーをベストペーパーとして選択した。

- “Pattern inspection of etched multilayer EUV mask”, Susumu Iida (EIDEC, Japan)
- “Challenges and requirements of mask data processing for multi-beam mask writer”, Jin Choi (Samsung Electronics Co., Ltd, Korea)

また、次の2つのペーパーをベストポスターとして選択した。

- Best Poster Presentation: ” Study of Defect Verification Based on Lithography Simulation with a SEM system”, Shingo Yoshikawa (Dai Nippon Printing, Japan)
- Best Academic Poster Presentation: “Extreme Ultraviolet Mask Observations Using a Coherent Extreme Ultraviolet Scatterometry Microscope with a High-Harmonic-Generation Source”, Takahiro Fujino (University of Hyogo, Japan)

以上の中から、新規性オリジナリティおよびインパクトを考慮し、BACUS2015 への Invited ベストペーパーとして Iida 氏らによる EUV マスクのパターン検査技術関連の論文を、また EMLC2015 へ Yoshikawa 氏による SEM システムによる欠陥検証関連の論文を推薦した。また、今年の BACUS2015 で開催される BACUS Student Session へ Best Academic Poster Presentation の Fujino 氏を推薦した。

7. 最後に

今年の PMJ2015 は、昨年までの参加者および論文数の減少傾向から増加に転じた。これは、景気上昇に加え、FPD 関連のベンダーセッションと連携した FPD セッションの設定、PMJ 全体のセッション構成、Invite Paper、パネルディスカッション等の充実化によるものと考えられる。特に Sub-10nm (7nm) のデ

バイス開発が開始されるこの時期に、そのリソグラフィがどうなるか、そのマスクの課題は何かというテーマを取り上げたことも大きな関心を引いたものと考えられる。半導体デバイスの発展には、フォトマスクの進歩は不可欠であり、マスク技術およびここに関わる要素技術すべてを網羅する PMJ 学会の必要性は失われることはないと考ええる。

今後も引き続き、国内外の各種団体、大学関係、政府機関関係などと連携を強めて参加者の裾野を広げるとともに、学会の内容を世界に向けてより強く発信していけるような仕組みづくりを目指したい。

以上