

## PMJ2013 学会報告

PMJ 論文委員長 加藤心

### 1. はじめに

以下に 2013 年 4 月 16 日から 18 日にかけてパシフィック横浜で開催された PMJ2013 学会についての報告を行う。

### 2. 概要

#### (1) 投稿論文数と傾向

PMJ2013 では全体で 75 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 37 件、Poster 発表が 31 件、招待講演が 7 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		6				6
EUVL Masks			15	6		21
FPD Photomasks			3	1		4
Inspection and Metrology			3	3		6
Lithography Related Technologies				1		1
Material and Process			5			5
MDP				7		7
MDP and EDA			7			7
NIL				1		1
Repair			2			2
Writing Technologies			2			2
Special Poster: MDP Technologies in Asia					12	12
TOTAL	1	6	37	19	12	75

全体としてみると昨年同様 EUVL 関連の発表が多く、最終日を全て EUVL 関連のセッションとして設定した。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。また今年の特徴として、マスクデータ処理関連の MDP セッションへの投稿が非常に多かったことが挙げられる。特別ポスターを含めると MDP 関連の投稿は合計で 26 件となり、全体の 4 割弱を占めた。プロセス微細化に伴うマスクデータの大規模化、複雑化で MDP 分野でのブレイクスルーが求められているのではないかと思われる。

#### (2) 特別ポスターセッション

本年度の PMJ では、論文不足を補うために MDP Technologies in Asia と名称で特別ポスターセッションを開催した。MDP ソフトウェア関連の会社は日本を始めとするアジア地区にも数多く存在するが、Shy な存在であり、普段より学会に論文を投稿することが

少ないため、SPIE への論文提出を義務付けない特別セッションとして声をかけたところ、予想以上の反響があり、全部で 12 件の応募があった。表 2 に会社名と Paper 数を示す。

表 2 MDP Technologies in Asia 参加企業

会社	国	Paper数	内容
SoftJin Technologies	インド	1	No show
日立ハイテクサイエンス	日本	1	SmartMRC
TOOL	日本	2	LAVISおよびMaskStudio
Astron	日本	1	No show
Jedat	日本	2	HOTSCOPEとFPDソフト
日本コントロールシステムズ	日本	3	フラクチャリング関連 (NDE)
D2S	日本	1	モデルベースフラクチャリング
イーシャトル	日本	1	CPデータ処理

ただし、残念なことに SoftJin 社と Astron 社は発表がキャンセルされた。SoftJin 社の欠席は直前に Mentor Graphics 社に買収された影響である。

各社の発表内容については、コマーシャル色が濃かったもののクオリティは高く、他のポスターと比較しても遜色ないものであった。各発表者にインタビューしてみると、PMJ での発表はフルペーパー提出の荷が重く二の足を踏んでしまうが、このようなスペシャルセッションでは比較的楽に発表ができてよいとの意見が出された。

#### (3) ベストペーパー

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。

- "A Study of phase defect measurement on EUV mask by multiple detectors CD-SEM", I.Yonekura (Toppan Printing)
- "The Capability of High Magnification Review Function for EUV Actinic Blank Inspection Tool", H.Miyai (Lasertec)
- "Improvement of EUVL mask structure with black border of etched multilayer", K.Takai (Toshiba)

また、次の 1 つのペーパーをベストポスターとして選択した。

- "A master-mold fabrication by EB lithography followed by nanoimprint lithography and double patterning", H.Kobayashi (Hoya)

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、BACUS2013 への Invited ベストペーパーとして凸版印刷の米倉氏による CD-SEM 技術関連の論文を、また EMLC2013 へレーザテック社の宮井氏による EUV マスク検査技術関連の論文を推薦した。

### 3. 各セッションの内容

#### [Opening セッションおよび Invited セッション]

20周年を迎えたPMJ2013はDNPの林氏によるキーノートセッションで幕を開けた。林氏のキーノートには通常の30分を超える45分が割り当てられ、フォトマスク産業の歴史の振り返りから将来への展望まで多岐にわたる内容が発表された。特に次世代リソグラフィ (Optical Extension/ EUVL/ NIL/ ML2/ DSA) のそれぞれについて必要とされるマスク技術が詳細に説明され、今後の業界のあり方について深い洞察が示された。次いで、招待講演として NuFlare と KLA-Tencor から発表があった。

Invited セッションでは、BACUS2012 のベストペーパーとして Intel から次世代マスクライタへの要求事項に関する発表があった。そして、IBM より Where wafers go, mask follow という力強いタイトルの発表がなされた。

#### [Writing Technologies]

マスク描画技術に関するセッションでは2件の論文が発表された。NuFlare からは、EBM-8000 においても、これまで開発してきたレジストチャージング補正モデルが有効に働くこと、及び、EBM-8000 におけるレジストチャージング効果は、パターン密度が非常に低い、あるいは、非常に高い場合にのみ特徴的に現れることが示された。Advantest からは、多用途に使える EB 描画装置 F7000 が紹介された。高解像カラムを持ち、CP (character projection) に対応する。Si Wafer、6025 Glass、など、多様なサブストレートへの露光が可能であり、LSI 用マスク、MEMS、など、様々な用途に適用できる。

#### [Material and Process]

材料およびプロセスの発表は5件。DNP は、1x node 向けに2倍以上の ArF 照射耐性を有する新規 PSM 膜を紹介。HM プロセスとの併用で 1x node で要求される解像性、CD 性能を満足することを示した。SUUS は、NH<sub>4</sub>OH にかわり、低濃度で高導電率、高ゼータ電位 (negative) が得られ、Mega Sonic 洗浄時に vapor 状の安定な cavitation 特性が得られる "Chemical A" を用いることで膜の化学ダメージと、MS 洗浄時の物理ダメージの問題が解決されると報告した。一方 TSMC は水素水への "Chemical C" 添加により MS 洗浄の物理ダメージが緩和できるため、相対的に高い MS power を印加することによりパーティクル除去率が

10%向上すると報告。MP Mask は MS 洗浄時の cavitation バブルの崩壊に伴うアコースティックエナジー (AE) とソノルミネッセンス (SL) に着目。Ar 水溶液で濃度に依存して AE、及び SL が小さくなることから物理ダメージの低減を期待したが。結果は予想通りにならず。極低濃度の Ar 水溶液での評価が今後の課題であるとした。三星はマスク製造工程での成長性 Haze 欠陥の発生を指摘。発生モデルは Cr エッチング後にマスクから Pod 内に放出された塩素が洗浄後の残留成分と反応。エッチング工程後の残留塩素の管理が重要であると結論づけた。

#### [Repair]

リペアーに関するセッションでは2件の論文が発表された。TSMC と Luminescent の論文では、リペアー一部の SEM 像を使用して空間像シミュレーションを行い、その測定精度を AIMS との比較で検討した。AIMS 測定結果との良い相関が得られ、この手法を用いると、Repair と AIMS の往復を防ぎリペアーサイクル時間の改善が可能となる結果が報告された。CarlZeiss と Photronics の論文では、リペアー一部のガラスエッチング深さを AFM を用いず AIMS 測定結果から評価する内容が検討された。AIMS のデフォーカス測定結果を用いてリペアー一部のガラスエッチング深さを EB リペアー装置 MeRiT の使用例で検討し、エッチング条件適正化に適用できる結果が報告された。

#### [Inspection and Metrology]

全部で3件の報告があった。いずれの発表も、ウェハーシミュレーションによりマスク寸法の影響を見極めることにより、FAB でレチクルトラブルを起さないようにレチクルの使用可否を判断することができるというものであった。以前より開発が進められているが、さらにシミュレーション精度が上がり、実用化されるレベルまでになっている。実ウェハーへの転写テストが容易ではないマスクメーカーにとっては重要な技術であり、出荷品質保証精度を上げることができる。デバイスメーカー側もレチクルのウェハー転写テストをすることなく、レチクルの問題点を見つけることができ、低コスト化に向けた重要な技術であると考えられる。アドバンテストの発表は、アドバンテスト製 SEM の E3630MVM-SEM のリソシミュレーションの機能の紹介であった。SEM 画像からリソシミュレーションが可能で AIMS とのコリレーションも良好であり、欠陥レビューにおいてウェハー転写を考慮しながら判定することができるということである。マル

チディテクタのため 3D 解析が可能で、EUV マスクなどで 3D リソシミュレーションができるとのこと。Rexchip からの発表は、FAB において AMAT 製レチクル検査機 Aera3 によってレチクルをモニターすることで、Haze のみならず寸法変動 (Mask Degradation) を早期に検出することができ、ウェハーへの影響を出さないようにすることができるというものであった。大日本印刷からは CarlZeiss の WLCD を使ったホットスポット解析機能の発表があった。測定再現性は良く、リソシミュレーションとの結果ともよく一致しており、また、マスク 3D の影響も含まれた解析であるため、ホットスポット解析には十分機能しているというものであった。

#### [MDP and EDA]

MDP 及び EDA のセッションでは、7 件の発表がなされた。日立ハイテクからは、Photomask 用データにおける Fuzzy Pattern Matching についての紹介及びその実用例に対する発表がなされ、Xyalis からは、MASK パターンにおける電気的欠損に関して SmartMRC を用いて高速に確認することができる技術の発表があった。HOYA からは Model ベース MDP における更なる高精度化についての発表、Aselta からは Model ベース MDP のデータにおける検証についての発表がなされた。また、Synopsys からは、VSB データにおける検証技術や露光する際の TAT 増加になりうる円形パターンの検出や Shot 数予測などについての技術が紹介された。産総研からは Computational Lithography と T-CAD を用いた 1xnm ノードの SRAM デザイン製造におけるシミュレーション結果が報告された。今年には MDP/EDA 関連の発表が多く、業界での注目度も上がっている。今後の発展を期待したい。

#### [FPD Photomasks]

大型マスクのセッションでは 3 件の発表があった。1 件目は Canon から解像度向上の必要性和ハーフトーン位相シフトマスク (HT-PSM) による DOF 向上技術が紹介され、ブロードな露光波長でも HT-PSM の効果があることが報告された。2 件目はレーザーテックから次世代マスク欠陥検査装置の発表が、3 件目はマイクロニック・マイデータより有機 EL パネルに求められる特性・特徴からマスクに求める精度が厳しくなっていくことが提示された。Canon の発表において、レーザーパワーの点から短波長化は難しいと言及があったが、今後 HT-PSM や OPC などの技術導入が加速

すること予想される。EDA ベンダー、ブランク・マスクメーカー、装置メーカー、パネルメーカー間のコミュニケーションの点で、PMJ はその役割と機能を十分に果たしていけるものと考えられる。

#### [EUVL Mask (1)]

Session10 (EUV マスク 1) では招待講演 1 件、一般講演 3 件の合計 4 件の発表が行われた。招待講演では DSA プロセスが紹介され、DSA が使われる場合のマスク精度に対する要求が議論された。DSA では自己組織化により、高周波の LER や細かな欠陥などが、自動修正されることから、マスクの要求される精度の緩和が期待された。一般講演では、三星からは、低感度レジストを使用する際の EB 描画で問題となる、レジストからの脱ガス評価結果、AMTC からは、EUV マスク洗浄時に発生する吸収層の寸法および膜厚変動の評価結果が報告された。また、東芝からは、ML 加工型遮光枠で問題となるパターン部の電気的な孤立状態を防ぐため、ML の下層に導電膜を敷くブランク構造が提案され、ML 層をブリッジで残す手法との比較結果が報告された。

#### [EUVL Mask (2)]

EUVL Mask(2)セッションでは 4 件の論文発表があった。Toppan より、Advantest 製 3D-SEM(E3630)を用いた EUV ブランク位相欠陥の 3 次元観察、測定結果が示された。Sematech からは、EUV ブランク位相欠陥の NXE3100 転写結果、AIT (Actinic Inspection Tool)空間イメージと、シミュレーターの比較結果、及び、欠陥サイズが一定以上に大きくなると、スムージングからコンフォーマルの成長モデルに変化することの報告があった。Toppan Photomask からは、パターンシフトによる欠陥回避技術の実証評価結果、回避可能な欠陥レベルの報告がなされ、Boston University からは、PSDT(Pseudo-Spectral Time Domain)法を用いた、高速、高精度な EUV マスク用 EMF シミュレーターに関する報告がなされた。

#### [EUVL masks (3)]

EUVL Mask(3)では 1 件の招待講演と 3 件の一般講演があり、招待講演は昨年秋のフォトマスク学会 (BACUS) のパネルディスカッションの内容が IBM の Thomas Faure 氏から報告され、将来も光マスクが延命される場合のマスク製作の課題が説明された。3 件の一般講演は、DUV すなわち 193nm による EUV マスクの検査に関する報告であり、EUV の Actinic 検

査実用化までの代用として、様々な技術検討や装置改良が行われていることが示された。最初の報告は、IBM、凸版、及び KLA-Tencor からの共同研究で、193nm の検査感度に対する EUV マスクの吸収体や低反射膜の厚みの最適化等に関して報告された。次の報告は KLA-Tencor からで、193nm による最新機種 Teron-630 の機能や性能等が紹介された。最後の報告は Samsung と Applied Materials からで、193nm による次世代検査機が紹介され、光学系等の改良による感度向上の評価結果等が報告された。

#### [EUVL Masks (4)]

5 件のオラル発表があり 4 件は EUV アクティニック波長を使用した装置で、1 件は電子線を使用した装置の発表という内容となった。EUV Technology は反射率のバラつき計測、EIDEC は表面ラフネス計測をする装置を発表した。どちらも EUVL Mask 品質の重要な要素であり、今後ブランク品質の改善に貢献すると期待される。Lasertec はブランク検査装置に高倍率の観察機能を付け、欠陥位置精度を上げることによりその場所を避けてパターンを作る Mitigation 手法を容易にする。兵庫大学が発表した EUV 位相効果をイメージングする研究結果は、EUVL の解像度をさらに上げるための位相シフトマスク技術への第 1 歩となる。ただしこの研究にはシンクロトロンを使用しており、技術を普及させるためにはより安価な光源が望まれる。残り 1 件は電子線によるパターン検査装置で、Projection Electron Microscopy (PEM) 技術を使うことで高速化を実現し hp16nm までの感度要求を満たす。各社および研究機関の取り組みにより EUVL 量産化に向けて EUVL Mask 開発がさらに加速されることを期待する。

#### 4. パネルディスカッション

"Future mask patterning technologies in the next decade"と題して今後 10 年のパターンニング技術の動向を占うパネル討議を開催した。モデレータは NuFlare 中山田氏とソニー鏡氏である。副題を"searching for the best mix solution"とした時点では Multi-EB, Single-VSB, Laser Writer 入り混じっての最適化が必要になるとの想定だったが、事前のアンケート結果からは Multi-EB に対する期待が群を抜いて高く、どうやれば Multi-EB を現実のものにできるか? というストーリーに焦点を移行した。

Samsung の Shin 氏は、描画装置だけでなく検査・測定装置への要求もカバーし、ILT マスクの精度保証

をどうするかという全体的な問題を提起した。Photronics の Proglor 氏は、特に生産性と CoO に関して問題は確実に存在するとの認識を示し、解決策として Single-VSB よりも自由度の高い Multi-EB の方が好ましいと結論した。D2S の Fujimura 氏は Multi-EB でも Single-VSB でも、モデリング技術が益々重要になると指摘をし、どちらの EB 技術でも、GPU 技術を下地とした EDA 技術が支えていくと力強く宣言された。IMS の Loeschner 氏は同社 Multi-EB 機の最新の描画結果を示して Multi-EB の明るい未来を顕示されながらも、"A lot of engineering work is needed"とされたコメントからは量産機に向けて乗り越えるハードルの多さが垣間見えた。NFT の松本氏は Single-VSB と同じ精度を達成するための Multi-EB 機性能に関する実験的考察を通して、今後のピクセルサイズとビーム分解能とビーム集積度と、それらの技術的困難度を予測した。最後に Micronic の Sandstrom 氏は、光 Multi-Beam の実績から、Multi-EB も設計上不可能な理屈はないとエールを送りつつも、決して Single-VSB の底力をあなどってはいけなさと教訓を付け足された。なお、誰もが一度は想起したことがあるはずの EUV Laser Writer については着手はされたもののすでに開発が中止されているとのことである。短時間の議論では統一した結論は得られなかったが、どのような形であっても停滞はせずに 10 年後にはパターンニング技術の進展を皆が享受できることを信じて閉幕した。

#### 5. 最後に

PMJ2013 では昨年同様に EUVL マスク関連でハイレベルな発表が多く、本分野の発展が期待される。また今年投稿の多かった MDP の分野について、今後の動向を注視したい。2012 年では特別セッションとして投稿を呼びかけた FPD マスクについては、今年は自然と Paper が投稿され、すでに PMJ の一分野として定着したと言ってよい。

また現在 NGL の分野で脚光を浴びている DSA 技術に関して、今年は TEL の永原氏を招待して講演してもらった。今後 DSA マスクに関する発表が集まることを期待したい。

企業統合によるプレーヤの減少、ファブライト化による先端技術の一部企業への集約および Captive マスクショップの存在感増大による Merchant マスクショップへの圧力など、厳しい状況下に置かれたマスク業界であるが、先端技術発信の場として PMJ 学会はその期待と責任を負うべく、今後も努力したい。