

## PMJ2012 学会報告

PMJ 論文委員長 加藤心

### 1. はじめに

以下に2012年4月17日から19日にかけてみなと未来ホールおよびパシフィコ横浜で開催されたPMJ2012学会について報告する。

### 2. 概要

#### (1) 投稿論文数と傾向

PMJ2012では全体で74件の発表が行われた。そのうち、Oral発表が40件、Poster発表が28件、招待講演が6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

Country	Presentation Type				TOTAL
	Keynote	Invited	Oral	Poster	
Austria			1		1
Egypt				1	1
France			1	1	2
Germany			6	1	7
Israel		1	1		2
Japan	1	2	15	14	32
Korea			3	5	8
Sweden			1		1
Taiwan			2	3	5
U.S.A		2	10	3	15
TOTAL	1	5	40	28	74

全体としては、EUV関連の論文が多く、全体の半数程度を占めた。従来はEUV関連の発表は全てEUVセッションで行っていたが、今回は検査や計測、修正などに特化した話題はそれぞれのセッションで行った。このため、例えば検査セッションでは5件中4件がEUV関連の発表となっている。これらのことから分かるように、すでにEUV技術立ち上げはPhotomask業界の共通の課題となっており、参加者からの注目度も高いことが伺える。

#### (2) 特別セッション

今年初めての試みとしてFPD(Flat Panel Display)マスクのスペシャルセッションを設けた。集めた論文は5件。

最初に座長より本セッションの背景、概要、FPD特有の技術などを簡単に説明。マスクメーカー代表としてSKEより大型マスクの歴史、製造技術概要の報告があり、もっとも大きな課題はコストであるとした。EDA代表としてJedatからパネルの特性を考慮した

デザイン検証技術について、マイクロニックマイデータからはムラへの取り組みを含めた描画技術概要や位置精度測定装置、SII-NTからは大型基板に対応したFIB修正装置、レーザーテックからはブランク欠陥検査、現像後の修正、ペリクル装着後の検査まで一連の技術が報告された。

大型マスクでは基板が大きいことによるシステムの大規模化や長描画時間に加えて、半導体マスクではあまりトピックとはならないムラへの取り組みが課題であることが示された。来年度以降は材料、露光装置メーカー、パネルメーカーなどからも発表が望まれるが自発的な投稿を待つのではなく、積極的に集めることが必要であろう。

#### (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。

- "New development system for EUV mask", M.Terayama(Toshiba)
- "A study of close-loop application for logic patterning", H.Imai(DNP)
- Photomask repair technology by using field ion source", F.Aramaki(SIINT)

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。通常は3つのペーパーをベストポスターとして選択しているが、今年はポスター発表の件数が少なかったため、バランスをとり2つに減じている。

- "Shedding light on EUV mask inspection", K.Seki(Toppan Photomask)
- "Novel programmed defect mask blanks for ML defect understanding and characterization", K.Matsui(Toppan)

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、BACUS2012へのInvitedベストペーパーとしてSIINT社の荒巻氏によるGFISマスク修正技術関連の論文を推薦した。

### 3. 各セッションの内容

#### [Opening Session]

PMJ2012はEIDECの森氏によるキーノートスピーチからスタートした。EUVリソグラフィのHVM(High Volume Manufacture)に向けた課題について、50分の熱弁の中で全体像および個々の問題を詳細に解説され、多くの示唆に富んだものであった。次いでBACUSのベストペーパーとしてIBMのHibbs氏が

光リソの Illuminator の誤差がもたらす影響に関する発表を行った。

#### [Process]

マスクプロセス、マスク劣化に関するセッションでは4件の論文が発表された。

TSMC の論文では、3D-AFM と AIMS を使用してマスク加工条件によるパターン形状の変化とその転写への影響を明らかにし、更に後処理の追加によりパターン形状の変化(劣化)を抑える手法が紹介された。AMTC からは、一連の PCA(Principal components analysis ; 多変量解析手法)を用いたマスクプロセスの CD 変動因子の解析において、パターン欠陥検査装置での CD 計測によって短時間で大量のデータサンプリングを可能とし、解析精度を向上させる手法が提案された。PKL は、マスククロム膜への ArF 光照射によって引き起こされる ESD,EFM といったパターン破壊や劣化をテストマスクを用いた実証的な手法で解析し、これらのダメージを予防的に抑止するマスク表面処理方法を開発した。Toshiba からは、従来のスキャン現像手法を更に改良し、EUV マスクの CD 分布とマスク間寸法差を改善すると同時に、現像中にマスク裏面金属膜に付着する異物を低減する液流システムが報告された。

#### [Metrology]

全部で5件のオラル発表があり、3件が光マスク、2件が EUV マスクという内容となった。

光マスクの3件のうち2件は Zeiss の WLCD (エアリアルイメージをベースにした CD 計測) を使ったもので、ひとつは WLCD と Wafer CD との相関性が良いという実験データを示し、もうひとつは DNP による WLCD と CDC (遮光エレメントを使う CD 補正) の組み合わせによる CD 改善効果を発表した。40nm ノードからより重要となる CDU (CD 均一性) に対するひとつのソリューションとして注目される。光の残り1件が CDSEM の新しいスキャン方式の発表で、Via レイヤーなどの孤立ドットに電荷がたまるチャージングにより計測精度が落ちる問題をランダムにスキャンすることで問題を克服した。EUV マスクの2件のうち1件が EUV マスクの CDSEM 計測で、EUV マスクは導電性がありチャージングの問題はないとされたが、実験の結果無視できないレベルだと判明した。しかしこの現象は CHARIOT Monte Carlo ソフトウェアによるシミュレーションで精度高く予想でき、今後ソリューションの糸口となる。最後の発表は AIMS

EUV の発表で、生産中の装置、および装置を生産する大規模な工場の建設計画が着々と進んでいる様子を何枚もの写真で紹介され、EUVL が現実味を帯びてきたことを強く印象付けた。

#### [Writing]

招待講演1件と一般講演3件の発表があった。招待講演は EMLC best paper より、Carl Zeiss 社の RegC に関する発表。透過率変調による CD 修正の CDC に続いて、RegC により位置精度修正についても扉が開かれた。WLCD, PROVE 等の製品群と相互に補完し合う囲い込み (closed loop) 戦略が完成したことにより、対抗陣営にとっては脅威となろう。一般講演は、(1)マルチビーム/IMS 社、(2)レジスト帯電補正/aBeam 社、HOYA 社、(3)ビームドリフト低減/Samsung 社、の3件。

(1)マルチビームは今回はじめて照射量  $80\mu\text{C}/\text{cm}^2$  の CAR レジストの描画結果報告があり、これまでの HSQ レジストの照射量  $1000\mu\text{C}/\text{cm}^2$  と比べて、格段に実用化に近づいてきているという好印象。

(2)レジスト帯電補正は物理モデル採用が強調されていたが、肝心の物理モデルに関する内容が開示されなかったことで点睛を欠いた。

(3)ビームドリフト低減についても、現象論的な実験と解説が主となり、汚染源などドリフト原因の根本に関する研究結果の報告があれば尚良かった。

ポスターは、(4)EUV マスク欠陥回避描画/NuFlare 社、(5)解像度限界付近の EB シミュレーション技術/aBeam 社の2件。(4)はパネルディスカッションテーマの一つとして注目を集めた。

#### [Repair]

修正セッションでは、4件の発表があった。SIINT の発表では、GFIS (Gas Field Ion Source)を用いることにより EB では修正困難な新材料 (HOYA-A6L2) が修正可能であることが示され、修正可能な最小パターンが 11nm (EB:20-30nm) である事が報告された。

CZ より、位置精度測定機: PROVE の結果を用いて RegC で補正することにより再作製すること無しに、位置精度の改善が可能であることを示された。

RAVE より、AFM のチップを利用してマスク上のナノサイズ異物の除去・移動が可能である技術が紹介された。メカニカル修正装置: Merlin プラットフォームに適用されアプリケーションは' BitClean ' と名づけられ、複数のマスクハウスで2年以上運用された結果が紹介された。

CZ より、EB 修正機を用いた EUV マスク 上の欠陥修正のパフォーマンスに関しての報告があった。複数ラインにまたがる様なアブソバの実欠陥を修正し、NXE3100 で転写評価を行い問題なく修正できていることを確認した。また、マルチレイヤー欠陥のコンペンセーション修正を実施後に NXE3100 で転写し、良好にターゲットパターンが再現されていることを確認された。

#### [EDA]

EDA, OPC and RET セッションでは招待講演を含む 5 件の発表がなされた。Mentor 社と Synopsys 社からは、それぞれ体系的アプローチと Rigorous モデル活用による OPC モデルの高精度化に関する発表がなされ、ひきつづきモデル精度向上への関心が高いことをうかがわせた。ルネサスと Nanya からは、それぞれロジックとメモリの特定用途に向けた OPC、検証フローが示され、この分野の応用の多様性を印象付けた。UCB Neureuther 教授による招待講演では、DFM に関する研究が大学と企業との連携により深化、発展していく例が示された。本分野の今後の発展を期待したい。

#### [MDP]

MDP セッションでは 1 件の招待講演+3 件の発表がなされた。

招待講演の産総研の門田博士からは、共同開発 PJ で行っている 1Xnm 世代に向けた ArF Computational Lithography の開発状況と博士らが作り上げた Holistic Lithography Solution の可能性について発表がなされた。SIINT 加藤氏からは SmartMRC (MRC software) の機能を利用した MASK 製造への応用例について発表がなされ、Mentor/ASELTA からは、フラクチャー図形や近接効果 Dose 補正を積極的にコントロールしてフォトマスク描画での Shot 数を減らす試みについて発表があった。近年積極的に MRC 技術を利用して、MASK の製造コスト/TAT 削減につなげようという試みがなされており、今後の動向に注目したい

#### [Inspection]

Inspection のセッションでは 4 件の発表があり、全てが EUV マスクを対象としたものであった。パターン検査に関する発表が 3 件、及びブランクスに関する発表が 1 件あった。

パターン検査に関しては、将来は高感度化が容易な

EB 検査装置への期待が高まった。またブランクス検査に関しては、EIDEC より、照度アップによる検査時間短縮効果が実証され、将来の HVM 機における高スループットの可能性が高まったと思われる。どちらも今後とも研究開発のさらなる成果を期待したい。

#### [EUV+NIL]

Oral は招待講演を含む 8 件、ポスター 5 件 (1 件キャンセル?) の 13 件 (EUV11 件、NIL2 件)、分野別には、ML 欠陥 3 件、洗浄 3 件、QA 装置 3 件、NIL2 件、マスクプロセス 1 件、シミュレーション 1 件。

SEMATECH は位相欠陥低減の可能性を示唆する成膜技術を、凸版は natural-like 位相欠陥を作りこんだブランクについて報告。位相欠陥の低減、解明、転写予測などへの寄与が期待される。東芝はゼロにならないブランク欠陥との付き合い方、必要な技術について報告した。Samsung は洗浄後にマスク表面に残る薬液成分と EUV 光照射の影響について調査し EUVL での haze 発生の可能性と洗浄後のマスク表面管理の重要性を指摘。Hama Tech は洗浄後の裏面検査、2 重 pod の洗浄の検証結果を報告。AMTC は洗浄ダメージについて報告した。学会向きではないが Hama Tech には露光装置チャック後の裏面洗浄、検査について踏み込んでもらいたいところ。招待講演として兵庫県立大より高コヒーレント光を使った高感度検査装置 HHG-CSM システムを紹介いただいた。Intel からは薄膜吸収体の位相特性を直接測定できる位相差測定装置の報告があり今後の開発の進展に注目したい。東芝からは EUV-AIMS へのつなぎ技術としての 3D-SEM の開発状況が報告された。

EUVL に関しては、実用化に向けた技術の発表も相次ぎ、次世代技術との位置づけから着々と準備が進められている様子がうかがえた。実用化のひとつとして凸版から EUV-HT の遮光棒形成プロセスの報告があり、EUVL 検証に耐えられるレベルのマスクの準備は整いつつある。リソ結果のマスクおよびマスクインフラへのフィードバックによりマスク開発のさらなる加速が期待される。

NIL 分野は HOYA から 2 件のみ。単一ピッチの Hole アレイパターンではあるがピッチ 25nm の Hole パターンを EB 描画 master として作製し NIL 転写を経て <15nm のピラーパターン形成。レプリカ上の微細パターン形成技術として注目すべき成果といえる。

## 4. パネルディスカッション

本年度のパネルディスカッションは”EUV Mask Defect Requirements : Which direction should we go, REAL or DREAM”というタイトルで、EUVマスクの検査回避技術について5人のパネラーより意見が述べられた。モデレータは凸版印刷秋間氏および大日本印刷富田氏である。

最初にモデレータより EUV マスクに関するアンケート結果と3つの関連論文の紹介があった。

①HOYA : FM の開発状況、②NFT : 描画機と FM、③SIINT : 欠陥回避ソフト)

①HOYA の報告によると FM の構造は基板掘り込みよりマルチレイヤー掘り込みタイプが、コントラスト (DUV 検査機、EB 描画機) やマーク形成容易性や欠陥制御の観点から望ましい。

②NFT の報告によると標準的な重ね描画機能を利用することにより、EB 描画機では 15-20nm のアライメント精度の達成が期待されている。

③SIINT の報告によると MRC ソフト (SmartMRC) で数回のブーリアン処理により欠陥回避は容易に可能であり、大掛かりなクラスターマシンを利用せずに短時間で計算が可能である。

最初のパネルは東芝の加茂氏より、メモリーではリダンダンシにより ML 欠陥救済が可能であり、実現するにはブランクスライヤとの SCM が重要である。品質保証として AIMS リリースまでは 3D SEM+リソグラフィ+シミュレーションの適用を提案され、EB 修正機によるアブソーバ欠陥の修正が転写に影響が少ないことを述べられた。二番目に EIDEC 村地氏より、ABI 機向け FM はマルチレイヤー掘り込み型で深さ 120nm が望ましいが、本マークを用いても欠陥座標精度が 130nm と目標 20nm から大きく離れているため、欠陥位置精度向上のための提言がなされた。

三番目にレーザーテック鈴木氏より ABI の欠陥レビュー用の高倍率光学系の紹介があり、これに FRGM (Fine Reference Grid Mask) を適用することにより欠陥座標精度 : 20nm が達成可能であると報告された。次に KLA-Tencor の Gregg 氏より、欠陥座標精度の目標値 : 30nm の DUV ブランク検査装置を 2012 年後半にリリース予定と報告され、この装置向けに新しい FM パターン寸法に関する提案があった。

最後に CarlZeiss 社の Waiblinger 氏より、EB 修正機を用いて複数ラインにまたがる様なアブソーバの実欠陥を修正し、NXE3100 で転写評価を行い問題なく修正できていることを確認した。また、マルチレイヤ

ー欠陥のコンペンセーション修正を実施後に NXE3100 で転写し、良好にターゲットパターンが再現されていることを確認された。

結論としては、EUV マスク欠陥の回避のためには業界全体での協力が不可欠であること、また FM 標準化のために関係者のコラボレーションが重要であるとして閉会された。

## 5. 最後に

PMJ2011 は東日本大震災のため中止となり、PMJ2012 は 2 年ぶりの開催となった。学会自体としては 2 年のブランクを感じさせぬレベルの高い発表が多く集まり、充実したものであった。特に EUV マスク関連の発表は半数近くを占め、本分野への期待の高さが伺える。

一方、学会の裾野を広げるべく行った FPD マスク分野のスペシャルセッションにおいては、普段 PMJ に来ることのない聴衆を集めることができ、有意義であったと感じる。2013 年度の開催趣意書から FPD を学会スコープ内に含め、大型マスク業界からの参加を促したい。

近年 NGL という言葉自体、死語になりつつあるが、その中で注目を浴びている DSA(Directed Self-Assembly)技術について、2013 年度より学会スコープに加えた。この分野からの投稿を呼びかけて行きたい。

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。