

PMJ2014 学会報告

PMJ2014 論文委員長
株式会社日立ハイテクサイエンス 加藤心

1. はじめに

2014年4月15日から16日にかけてパシフィコ横浜でPMJ2014学会が開催された。以下にPMJ2014学会についての報告を行う。

2. 投稿論文数と傾向

PMJ2014では全体で65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25件、Poster発表が35件、招待講演が5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		4				4
EDA & RET				3		3
EUV				5		5
FPD masks			2			2
Inspection&Cleaning			3	1		4
Lithography			1	1		2
Metrology			3	1		4
NIL			1			1
Repair				2		2
Writing Technologies			3	1		4
EUVL			12			12
Special Poster					21	21
TOTAL	1	4	25	14	21	65

諸般の事情により、PMJ2014は二日開催(PMJ2013は二日半開催)となったが、そのためOral発表が減っており、逆にPoster発表が若干増えている。

各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2012年度より開始した大型マスク(FPD Mask)セッションにも2件の発表がなされ、完全に定着したと言ってよい。

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、「Photomask Related Technologies in Academia」を開催し、大学関係からの投稿、参加者を募った。詳細は本稿にて後述する。

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]

PMJ2014はTSMCのYoo氏のキーノートスピーチでスタートした。Yoo氏はTSMCのマスク部門であるEBOのトップであり、普段ベールに隠されているCaptiveマスクショップの状況について、マスクコスト等の生々しい数字を交えながら解説され、またマスク業界が目指すべき方向に示唆を与える発表であった。

次にBACUSとEMLCの両方からのBest Paper推薦としてASMLのDavydova氏がEUVLマスクイメージングに関する発表を行った。

[Inspection and Cleaning]

検査および洗浄のセッションでは3件の論文が発表された。ST-Microは、14nm logic向けにマスクモデル検証実施例を紹介。Denseパターンに於いて、精度良くモデル検証できた事が報告された。Maglenは、永久磁石レンズを用いたマルチカラムの電子線検査機での検査実施例を紹介し、直径30mmの69本のビームカラムにより高速検査が可能で3nmの解像度があり、高感度でマスクの欠陥を把握できることが報告された。SUSSは、成長性HAZEを抑制する為、オゾン水(DIO3)を用いたレジスト剥離の改善手法において、In-situ UVでのレジスト表面処置が非常に有効であることが報告された。

[NIL]

ナノインプリントに関するセッションでは1件の論文がDNPより発表された。この論文では、Qzテンプレートの作製にSWP(Side-Wall Process)を用いることにより、EB・レジストの解像度限界を越えたSub-10nmの微細L&Sパターンを、EB描画コストを抑えて作製することが出来ることが示された。

[Writing Technologies]

一般講演3件の発表が(1)Samsung(2)NuFlare(3)東芝よりあった。(1)は2010年の同社の講演をマルチビーム(MB)描画装置向けに焼き直したもの。いよいよMBは概念検証から生産適用に関する議論のフェーズに入った。(2)は最新(そして最後の?)単一VSB描画装置EBM-9000に関するもの。電流密度を2倍の800A/cm²に上げ、かつ成形2段・対物3段の偏向器の採用によるセトリング時間の短縮で高スループット化をねらっている。(3)はEBM-9000による微細寸法パターンの形成に関する報告であり、1:3という

duty 比ではあるが、sub10nm の解像性能が示された。
総評として、MB と VSB の生存を賭けた戦いの火蓋が切られたとの意を強くした。

[Lithography Related Technologies]

リソグラフィ関連技術のセッションでは、Invited と Regular の計 2 件の論文が発表された。Invited プレゼンテーションでは、東京工芸大学の渋谷真人教授より、光学理論に基づく位相シフトマスクや OAI (off axis illumination) などの超解像技術の原理や特性、これら超解像技術の開発に伴う光学理論の発展について報告された。次に、大阪府立大学から Built-in Lens Mask Lithography の論文が報告された。これはマスクパターンにレンズ効果を持たせることでウエハ上のパターン解像力を向上させたプロキシミティ露光方式である。マスクパターンは、ウエハ上イメージを逆フーリエ変換して得られる複素振幅に基づいて設計される。従来のプロキシミティ露光に比べ解像力が高くなるため、レンズシステムを用いない露光による微細加工や 3 次元パターンニングなどへの応用に期待される。

[FPD masks]

FPD セッションでは 2 件の発表があった。マイクロニック・マイデータからはマスク描画装置の最新技術が発表された。近年、OLED 向けマスクに対してオーバーレイの向上が求められているが、描画時のマスク高さ測定による位置補正、あるいは気圧変動が干渉計に与える影響を補正する技術が紹介された。キャノンからはデザインルール 1.5 μm 世代の課題を中心に発表が行われた。課題の一つにオーバーレイが挙げられるが、マスク基板の平坦度向上と膜応力低減が重要となる。1.5 μm 世代以降のリソグラフィにおいて、マスク技術の進展は必要不可欠であり、材料メーカーや装置メーカー含め、業界全体で連携した取り組みが必要であるとの認識が示された。

[BUCUS パネル報告]

BACUS で行われたパネルディスカッションでは、現行の 6 インチマスクから大きなサイズのマスクへ移行するメリットの是非が話し合われた。

候補としては 7、9、12 インチなどが挙げられたが、マスク製造装置の全面的な刷新に伴うコストが大きなネックとなり、これらのコストに見合うメリットを見出せるのは数社のメガファブに限られてしまう。ROI (対投資効果) を出すのは難しく、したがって近い将来マスクサイズが変更される可能性は低いという意見

で一致した。今後マスクサイズが変更されるとすればそのタイミングは ROI ドリブンでなければならない、と最後に結論付けている。

[Metrology]

1 件目は Samsung による発表で、Advantest の CD SEM で Large Field Of View (LFOV) を使い、多点測定により Hard OPC パターンでも安定した測定を行える機能を紹介した。Design Database を活用し数千点の ROI 設定を可能にする。2 件目は凸版印刷による発表で、KLA-Tencor の IPRO5 レジストレーションツールの新機能を紹介した。従来のエッジアルゴリズムではなく、デザインデータから光学イメージをシミュレーションし、それを実際のマスクイメージと重ね合わせて座標を算出する Model Based アルゴリズムにより、従来の手法では難しかった In-Die パターン計測を可能にする。実際にプロダクションマスクを測り、従来のモニターマークと In-Die とでは傾向が違ふことを示し、これからは In-Die パターンの計測が重要であることを主張した。3 件目は KLA-Tencor と大日本印刷共著による同じく IPRO5 に関する発表で、Model Based アルゴリズムの安定性について評価結果を紹介した。コンタクトホール Array の端に配置されたコンタクトを測ると通常、Optical Proximity Effect (光学的近接効果) により計測結果に誤差が生じる。Model Based Algorithm はこの近接効果もシミュレーションに含むため、誤差が生じることがないことを実証した。

[EUVL Mask (1)]

AMTC からは洗浄、修正に関する紹介が行われ、100 回以上の洗浄を繰り返しても、ダメージが殆ど無い結果が報告された。また、欠陥修正では Ta 材が硬く、ナノマシニングによる加工では針のダメージが光マスクの 5~10 倍になるとしていた。

SEMATECH からは Ru キャップのダメージの発生メカニズム及び新構造のキャップ層が紹介された。Ru キャップの剥離は、下層の Si 層の酸化による、密着力の低下と膨張によるひずみにより発生しており、キャップ層の酸素透過を防ぐため、Ru への添加物や B4C 膜が紹介されていた。また、これらのなかで B4C+Ru の積層膜が最も良好であるとしていた。

LBNL からはブランクの表面ラフネスとウエハの LWR の関係を調査した結果が紹介された。ラフネスの影響はデフォーカス時に顕著にあらわれ、反射面のラフネス計測には AFM よりも EUV Scatterometry が適切であるとしていた。

Hanyang 大学からは、多層膜加工構造の EUV マスクの転写性を、シミュレーションベースで評価した結果が報告されていた。多層膜加工構造の方が、通常吸収体パターンよりもシャドウイングが抑制され転写性がよく、必要な露光量も低く抑えることができると報告されていた。

[EUVL Mask (2)]

EUV Actinic 光を用いた装置、評価について招待講演 1 件を含む 4 件の発表があった。

招待講演は LBNL から高 NA 対応のレチクルレビューシステム SHARP についての講演。多様な照明条件に対応した装置特性のデモンストレーション結果が示され次世代のマスク、リソの評価にも寄与できると報告された。

また Carl Zeiss から EUV-AIMS の 1st light の結果としてラインおよびホールパターンの AIMS 像が報告され、マスクパターンラフネスおよびプログラム欠陥の検知能力についても報告された。

兵庫県立大学のイメージングシステムは位相欠陥を高感度に検出できる特徴を持ち、プログラム位相欠陥の観察から検出限界について議論された。マスク起因と思われるノイズの低減が必要であるとした。

IBM、凸版からはブランクの多層膜自然欠陥のサイズと吸収体からのみ出し量に対して修正、隠す、撲滅する欠陥に分類する実用的な欠陥マネージメント手法が提案された。これら Actinic 光の評価技術の活用により EUV マスクの種々の課題に対する理解が深まっていくことが期待される。

[EUVL masks (3)]

IMEC からはブランク欠陥を含む自然欠陥の検査とウェハ転写性について、またファブにおけるマスク裏面異物の管理について発表された。露光機のステージを介してマスク裏面の異物がマスク間で Transfer する問題が報告され、EUV 量産適用時の異物管理は大きな課題と考えられる。

EIDEC は Projection 方式の EB 検査装置の開発状況について発表し、Die to Die 検査で検査感度 16nm、スループット 19 時間を達成と報告された。

凸版/IBM は複数の EUV ブランクに対して EB 修正装置による欠陥の加工性評価結果を報告した。吸収膜の構造により加工性が異なっており、膜構造の選択には欠陥検査性、加工性、ウェハ転写性等総合的に評価が必要であると考えられる。

レーザーテックからは Actinic ブランク検査装置に

おける欠陥判別機能について報告された。欠陥シグナルがフォーカスによって変化する事に着目。本機能により、欠陥検出のみならず欠陥の凹凸判別が可能になると期待される。

最後に EIDEC から Actinic ブランク検査装置について発表された。ブランク表面の粗さが擬似欠陥検出に影響を与えている事が指摘された一方、16nm ノードで転写に影響のある欠陥はほぼ検出可能であると報告された。

4. パネルディスカッション

今回は” EUV mask inspection technologies for the 10nm and beyond” というテーマで 5 名のパネリスト、及び 1 名のコメンテーターを招いて議論した。モデレータはレーザーテックの武久氏、副モデレータは凸版印刷の小谷氏である。

最初にモデレータより EUV マスク検査の将来のニーズと課題が概説され、それを踏まえて各モデレータより、要求技術等が説明された。特に開発が促進されている EUV ペリクルの実用化を想定した検査技術も議論された。

デバイスメーカーを代表するパネリストとして、Samsung Electronics の B-G Kim 氏によると、1Xnm 世代以降のブランクス検査には Actinic が優位であるとの指摘がなされたが、パターン検査に関しては、hp サイズやペリクルの有無によって、Actinic、EB、DUV 検査機を使い分ける必要があるとの見解が示された。ただしペリクル付き EUV マスクの検査に関しては、必ずしも Actinic が不可欠ではなく、メンブレン材質に依っては EB 適用の可能性もあるとのユニークな指摘もあった。

マスクショップを代表するパネリストとして、DNP の森川氏からは、ブランクス検査、パターン検査、さらにペリクルがある場合のパターン検査に対して、光学手法、EB、及び Actinic 検査における優劣の比較が説明された。どの検査でも Actinic は感度に優位性があるが、実用化されるまでは EB 検査機がブリッジツールになると指摘された。

検査機メーカーからのパネリストである Carl Zeiss の Peters 氏からは、おもに AIMS のニーズと重要性が説明された。また EUV ペリクルは HVM では不可欠であるが、Actinic 検査機無しでは、マスク検査のインフラは不完全であると指摘された。

一方、レーザーテックの田島氏より、EUV マスクの裏面検査装置 (BASIC) の技術説明があり、付着異

物の研磨除去手法も説明された。さらに現行機でも将来必要とされるサブミクロンのパーティクルが十分検出可能とのことであった。また、EUV ペリクル面のパーティクル検出に関しても、検査光源波長の変更等で技術的に十分可能であると説明された。

また最初の3名のパネリストから必要性が指摘された Actinic 検査における HVM 対応機に不可欠な小型・高輝度の EUV 光源に関して、ウシオ電機の笠間氏から光源の詳細説明がなされた。それによると、各種 Actinic 検査に必要な輝度値は既に達成されているとのことであり、引き続き消耗品の寿命の改善を行っていくと述べられた。

なお、今回から依頼することになったコメンテーターである IMEC の Jonckheere 氏からは、特にパーティクル対策等に関して、適宜、各パネリストに具体的な質問をして頂き、ディスカッションを円滑に進めることができた。最後に小谷氏からまとめと総括が述べられ、閉幕した。

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、“Photomask Related Technologies in Academia”を開催し、大学関係からの投稿、参加者を募った。

PMJ2014 - Special Poster Sessionにつきました

- PMJ2013では“Photomask Related Technologies in Academia”というタイトルで特別ポスターセッションを行わせていただきました。ありがとうございます。
- 目的
 - ? 普段はPMJと接点の少ない大学発の半導体製造・ナノ加工技術につきまして、PMJ2014にてポスター発表をしていただき、実用面からの視点で議論をさせていただきたいと思います。
 - ? 特にマスク技術関係者の知らない新技術について、新たな発見を行うことで実用化に結びつけることができればと思います。
 - ? また、大学側の方にも、マスク業界の問題点に触れていただくことで、ご自分の研究のヒントにいただければ幸いです。

図1 特別ポスター案内文

PMJ 組織委員長の堀内先生および凸版印刷の森本実行委員長のご協力を得て、幅広い分野の大学研究室に声をかけていただき、21 件のポスター発表を獲得することができた。さらに組織副委員長の渋谷先生にはリソグラフィ関連の招待講演をしていただくなどのご支援を頂いた。

発表されたポスターについては、基礎研究が多いものの半導体・マスク製造の分野でも将来応用が期待されるものもあり、充実した内容であったと言える。

来年度以降も何らかの形で大学関連からの発表・技

術交流は続けていきたいと考える。

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。

- ・ “High performance mask fabrication process for the next-generation mask production”, Keisuke Yagawa (Toshiba)
- ・ “In-Die Registration Measurement Using Novel Model-Based Approach for Advanced Technology Masks”, Shunsuke Sato (Toppan)

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。

- ・ “Application of EB repair for high durable MoSi phase shift mask”, Shingo Kanamitsu (Toshiba)
- ・ “Electron beam current dependence on a surface potential distribution at a resist film on a conductive substrate”, Kentaro Kumagai (Osaka Institute of Technology)

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、BACUS2014 への Invited ベストペーパーとして凸版印刷の佐藤氏らによる In-die Registration Metrology 技術関連の論文を、また EMLC2014 へ東芝の Yagawa 氏によるマスク描画技術関連の論文を推薦した。

7. 最後に

近年半導体関係の学会・カンファレンスでは参加者の減少による統廃合の動きが聞こえてきており、PMJ 学会においても参加者および論文数の減少が続いている。しかしながら、光リソの延命および EUVL の立ち上げのどちらのパスを産業が選択しても、フォトマスクの重要性はますます増大すると思われ、マスク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はずである。

今後は国内外の各種団体、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