

14nmノード以降の半導体プロセスにおける 先端リソグラフィ材料のろ過と コンタミネーション・コントロール

Rao Varanasi, Michael Mesawich, Patrick Connor, Lawrence Johnson
Pall Corporation, Microelectronics Business Unit

本稿は、2017 SPIE Advanced Lithography Conferenceにおける既報告
(Christoph K. Hohle, Proc. of SPIE Vol. 10146, 101462B 原題 Advanced lithographic filtration and
contamination control for 14nm node and beyond semiconductor processes)をもとに、再編成したものである。

1. はじめに

14nm以降の半導体デバイスの微細化とともに、プロセス、デザイン双方のイノベーションにおける新たな課題と機会が顕在化しています。ろ過技術は重要な役割を果たしており、欠陥の低減だけでなく、汚染の影響が少ない性能が求められています。フォトリソグラフィシステムにおける金属、パーティクル、繊維状欠陥、及び残渣物欠陥は、長年にわたり半導体製造プロセスにとって重要な歩留まり低下の要因であり、様々なリソグラフィ工程に影響を与えてきました。薬液から10nm以下のサイズの汚染物質(金属/粒子/有機物/不揮発性残渣物)を除外するという現在の厳しい欠陥許容値を満たすためには、最適化されたろ過が必要です。フィルター清浄度、ろ過精度、フィルターメンブレン/デザインの特徴、ろ過速度、および流量-圧力損失特性については、適切にコントロールされなければなりません。

粒子、金属、有機物、および不揮発性残渣物を含む、さまざまな種類の汚染物質が歩留まりに影響を与えるウエハー上での欠陥を引き起こす可能性があります。これらのいずれも複数の原因が考えられます。

- 材料起因の欠陥
- リソグラフィプロセス起因の欠陥
- パターン転写欠陥
- 装置起因の欠陥

コンタミネーションコントロールへの重要な手段の1つは、ナノスケールでのろ過(または「ナノフィルトレーション」)の採用です。このような要求の厳しい運用に適したナノフィルトレーションの開発には、表1に示すような、考慮すべき様々な側面が含まれます。

表1: 先進技術ノードのためのナノフィルトレーションの開発に関連する側面

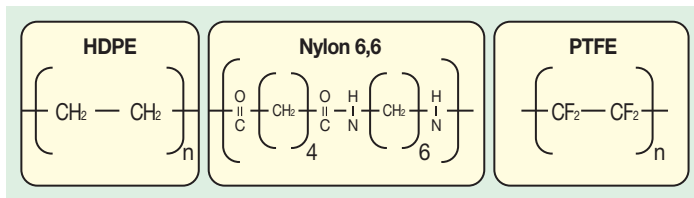
| 最適化された洗浄工程 |
|---|
| 微量金属 残留有機物 パーティクル付着 フィルターの立ち上げ |

| |
|--|
| 先端製造プロセス |
| クリーンルームでのフィルター製造 統合された製造作業 |
| 先進メンブレン技術 |
| 微細な孔径 吸着とふるい 対称と非対称 |
| アプリケーションに特化したフィルタリングプロセス |
| 上層反射防止膜/トップコート 液浸レジスト/トップコートレスレジスト 現像液 - TMAH, nBA 金属酸化物 EUVレジスト 自己組織化リソグラフィ |
| メンブレン除去能力の確認方法 |

これらの側面に取り組むことで、より洗練された、よりクリーンな、より速く、アプリケーションに適したろ過を提供するという目標が達成されます。リソグラフィ領域における現在の適用要求を満たすろ過は、いくつかのろ過メカニズムによってコンタミネーションを除去する主要な機能を発揮します。

- ふるい分け
- 吸着
- 表面相互作用
- 親水性 - 疎水性
- 複雑な経路

ポールは、リソグラフィのために必要なコンタミネーション除去を実現することができる様々なろ過メンブレンを含むフィルターを提供します。図1は、高密度ポリエチレン(HDPE)、ナイロン6,6、およびポリテトラフルオロエチレン(PTFE)の3つのメンブレンの化学構造とろ過精度、及び洗浄プロセスに関する情報を示します。



| Pall Membrane Technologies | Products (Rated by GNP) | Cleaning Innovations |
|----------------------------|---|---|
| HDPE | ≥ 2nm Commercial < 2nm - Production | Standard, Express Clean (XP) Ultra Clean (XG) |
| Nylon 6,6 | ≥ 5nm Commercial 2nm - Pre - Production | Standard, Express Clean (XP) Ultra Clean (XN) |
| PTFE | 10nm - Commercial 5nm - Pre - Production | PFA Hardware, Express Clean |

図1：ボールのリソグラフィ用途の微細なメンブレン
(注：「GNP」は金ナノ粒子を指します)

性能特性に影響を及ぼすと考えられるメンブレン特性の中には、メンブレンモルフォロジーがあります。特に、メディアのなかでは、上流から下流への孔径の非対称度 (asymmetry) が大きいもの、小さいものと作り分けられているものがあります。これを図2に示します。

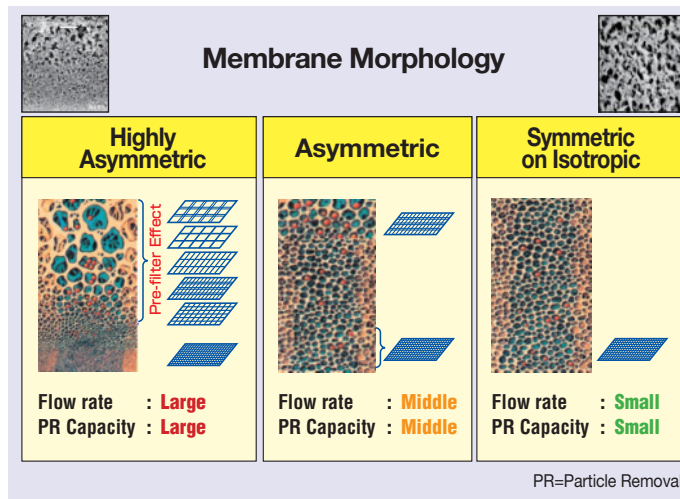


図2：リソグラフィアプリケーションで使用されるろ過メンブレンに適用される様々なモルフォロジー

メンブレン開発、フィルター製造、フィルター製品の最終処理工程のようなさまざまな側面は、すべて最終製品及び、実際の用途における性能に影響を及ぼしますが、今回我々は特にフィルターに施される洗浄プロセスに着目しました。本論文では、ろ過精度2nmのHDPEメンブレンから構成されているフィルターについて、洗浄強化が、抽出物およびパーティクルの観点からフィルターの本質的な清浄度を改善するだけでなく、実際のリソグラフィ用途において性能を向上させること示したいと思います。

2. 実験

ろ過精度2nmのHDPEメンブレンと他の構成部材もHDPEであるフィルターの2つの洗浄バージョンについて評価を実施しました。一つは「UG2」と呼ばれ、その製造工程では標準の洗浄プロセス、他方は「XG2」と呼ばれる特殊洗浄プロセスが適用されています。フィルターの初期清浄度テストには、金属および有機抽出物のレベル、および設置時の初期パーティクル評価を含んでいます。アプリケーション向けのテストでは、ポイントオブユース (POU) に設置された各バージョンのフィルターで193nmフォトレジスト (PR) をディスペンスし、ブランケットウエハーとパターン付ウエハー双方の欠陥レベルを分析しました。欠陥レベルは、各フィルター、および各ウエハーについて経時的に観察しました。

2.1. 抽出テスト

カプセル形状の各フィルターサンプルを試験液で満たし、室温で24時間静置しました。浸漬後、各カプセルに満たされた試験液を誘導結合プラズマ質量分析 (ICP - MS、アジレント社製) にて22種の金属のレベル、およびii)有機物として不揮発性残留物を測定しました。

2.2. 初期パーティクルテスト

各タイプのフィルターカプセルにプロピレングリコールモノエチルエーテル (PGME) とプロピレングリコールモノエチルエーテルアセテート (PGMEA) の70/30混合溶剤を毎分300mLで循環させながらカプセルの二次側からリオン製モデルKS-19F

パーティクルカウンターへ導入しました。30nm以上の1mL当たりのパーティクルの累積レベルを90分間測定しました。

2.3. ろ過されたフォトレジストでのウエハー欠陥検査

ブランケットウエハーおよびパターン付ウエハーでの欠陥検査試験は、LITHIUS 300mm (TEL Clean Track) システム (LITHIUS and Clean Trackは東京エレクトロン社の登録商標) およびASML社製193nm液浸露光機 (TWINSCAN XT:1900i) を用いて、300mmシリコンウエハーで実施しました。フィルターは、実際のディスペンスを実施する前に標準的な前処理を行いました。試験フィルター (UG2/XG2) でろ過した液浸ArFレジスト (PR) をウエハーにスピコートし、PSMを用いたブライトフィールドマスクを用いて露光した後にベーク処理を経て0.263N TMAHで現像し、45nmL/Sパターンを形成しました。フォトレジスト膜のブランケット欠陥はKLA-Tencor社製Surfscan SP3システムを用いて測定し、45nmL/Sパターン欠陥はKLA-Tencor社製2800装置を用いて分析しました。また、フィルター設置直後、12,16、および24時間後について継続的な欠陥レベルを測定しました。



3. 結果

3.1. 抽出テスト

図3は、UG2フィルター（標準）とXG2フィルター（ウルトラクリーン）の24時間抽出における金属レベルおよび有機物レベルについての相対比較結果です。両方共非常に低いレベルでした。

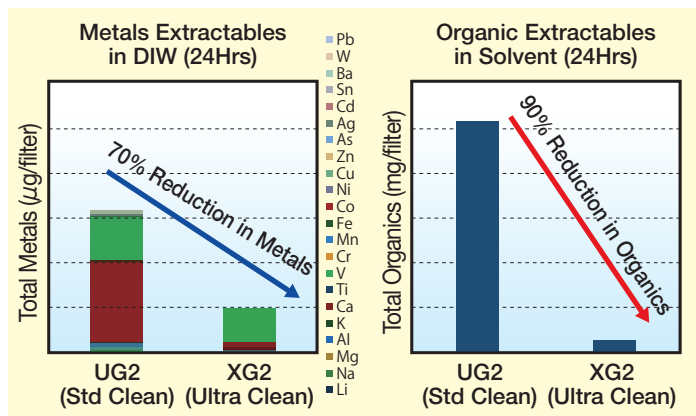


図3：各試験液で24時間抽出した場合のUG2フィルター（標準）およびXG2フィルター（ウルトラクリーン）による金属および有機抽出物レベル相対値

3.2. 初期パーティクルテスト

図4は、フィルターの初期パーティクルレベルを示します。XG2フィルター（ウルトラクリーン）では20分後に約10N/mLの安定したベースラインレベルが達成されましたが、UG2フィルター（標準）では40分後まで約90N/mLの安定したカウントレベルに到達しませんでした。

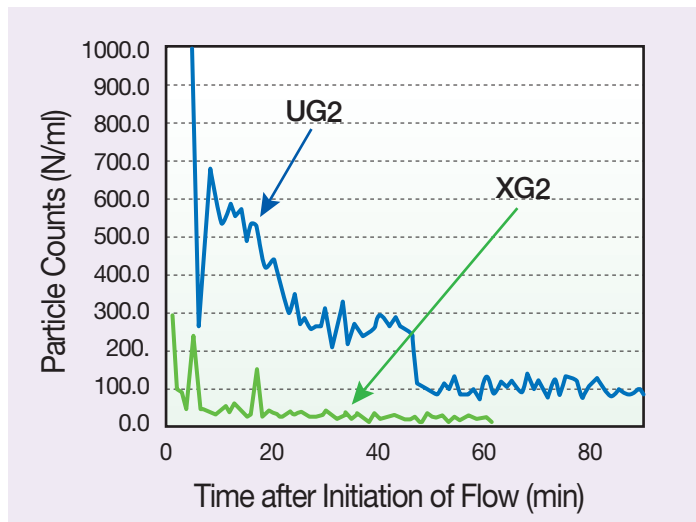


図4：70/30 PGME/PGMEA 溶剤を300mL/分で循環した際のカプセルフィルターでの30nm以上のパーティクル減衰曲線

3.3. フォトレジストろ過方法に対するウエハー欠陥評価

図5に、UG2フィルター（標準）およびXG2フィルター（ウルトラクリーン）設置後の各時間にレジストをディスペンスしたブランケットウエハー上の相対的欠陥レベルと、検出された特定欠陥のエネルギー分散型X線（EDX）分光分析結果を示しま

す。図6は、UG2フィルター（標準）およびXG2フィルター（ウルトラクリーン）によつてろ過されたフォトレジストをディスペンスしたウエハーの45nmL/Sパターン欠陥マップを示します。図7は、検出された欠陥が主に「ブリッジ」型であることを示す画像とパターン付ウエハーで観察された相対的欠陥レベルを示します。

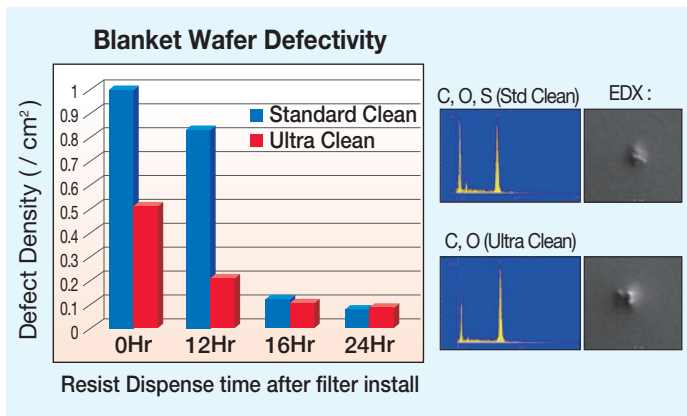


図5：XG2フィルター（ウルトラクリーン）とUG2フィルター（標準）を使用し処理されたブランケットウエハーの相対的欠陥密度、およびそれぞれ検出された欠陥のEDXデータ

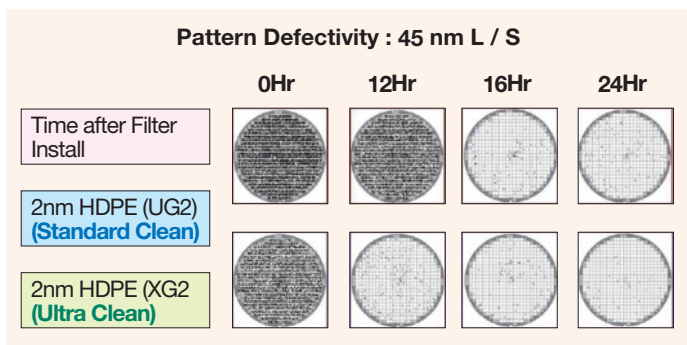


図6：XG2フィルター（ウルトラクリーン）とUG2フィルター（標準）使用し処理されたウエハーの各フィルター設置後時間に対する特定パターン欠陥

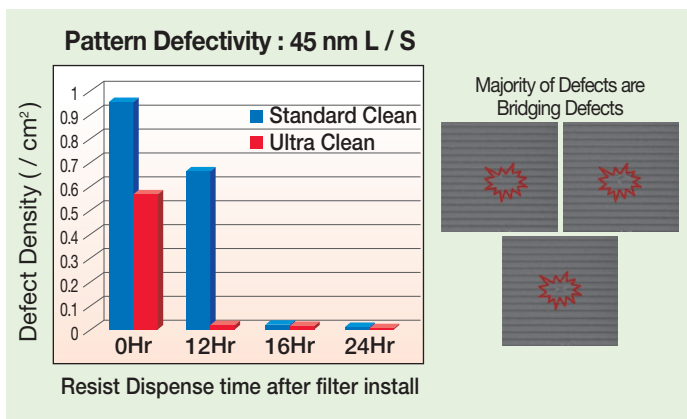


図7：XG2フィルター（ウルトラクリーン）とUG2フィルター（標準）を使用し処理されたパターン付ウエハーの相対的欠陥密度及び観察されたブリッジ欠陥の画像



4. まとめ

リソグラフィ用途におけるコンタミネーションコントロール、および欠陥低減に関連するフィルターの初期清浄度の重要性を検討しました。リソグラフィアプリケーションで現在使用されているろ過精度2nmのUG2フィルター（標準）と特殊洗浄を施したXG2フィルター（ウルトラクリーン）を用い、金属、有機抽出物およびフィルター設置時の初期パーティクル清浄度について評価しました。続いて、各フィルターサンプルを実際のウエハー処理に使用されるレジストのPOUろ過に使用し、ブランケットウエハーおよびパターン付ウエハーの欠陥を継続的に測定しました。

XG2フィルター（ウルトラクリーン）は、本質的な清浄度においてUG2フィルター（標準）と比較して、70%の金属抽出物低減と90%の有機抽出物低減を示しました。初期パーティクルの点では、30nm以上のパーティクルカウントが、PGME/PGMEA溶剤中でXG2フィルター（ウルトラクリーン）では約20分で安

定したベースラインレベルに到達し、UG2フィルター（標準）は40分後に安定したレベルに到達し、その最終的な安定レベルはXG2フィルター（ウルトラクリーン）では約10N/mL、UG2フィルター（標準）では90N/mLでした。193nm液浸レジストのPOUろ過に使用した場合、ブランケットウエハーとパターン付ウエハーの初期欠陥レベルは、UG2と比較してXG2の方がかなり低く、稼働時間に対しても急速な減少が確認されました。

これらの結果は、ナノフィルトレーションが欠陥低減に重要な役割を果たし、メディアモルフォロジーおよび細孔径分布がパーティクル除去性能にとって重要であることを証明しています。しかし、上記に加えて、強化された洗浄プロセスによって大幅に改善されたXG2フィルター（ウルトラクリーン）の清浄度が、フィルターの立ち上げ時間およびブリッジ欠陥低減に大きな効果があることがわかりました。

参考文献

- [1] Brodsky, C., "Beyond immersion – patterning enablers for the next decade", Semicon Europa Oral Presentation, October 2011.
- [2] Sengupta, A., "The Future of Contamination Control & Next generation Supply Chain for <14nm Node Semiconductor Processes", SMC 2016 Proc.

お問い合わせ

詳しい内容につきましてご質問がありましたら、下記までお問い合わせください。

【マイクロエレクトロニクス事業部】 TEL.03-6901-5700