

表2 高反応性カチオン

PAG カチオン	既存	新規
LUMO 準位 [eV] (Calc. by MOPAC)	-5.06	-5.37
$\phi$ [Quantum Yield] by Coumarin 6	2.9	3.1

子求引基を導入することで、LUMO 準位を変化させている。これにより酸濃度コントラストの向上が可能になり、感度と LWR の改善が可能とされている<sup>9)</sup>。

また酸濃度コントラストをより良い脱保護コントラストに転写するために脱保護エネルギーが低い酸解離性基や拡散を抑制するようなアニオン設計がなされており、LWR 改善に寄与している。

このように各ステップでの反応効率を最大化することで、レジストのポテンシャルを向上させて、解像力、ラフネス、感度特性の向上を図っている。実際にこれまでの KrF、ArF 向け化学増幅レジストと構造が変更されているため、KrF、ArF 向けレジストをそのまま使用しても望むような特性が得られない。レジストベンダーは上記の課題の改善にむけて種々の取り組みをしている次第である。

### 3.4 EUV リソグラフィにおける他のレジストアプローチ

化学増幅型のような有機物では EUV 光に対する吸収が十分得られないことから金属酸化物をコアとしたレジストも提案されている<sup>10)</sup>。金属酸化物に対して有機の配位子を配置したメタルクラスタの膜を作成し、EUV 光で露光をすると配位子が分解脱離後、金属酸化物同士が結合し、不溶になるというシステムである。化学増幅型と違い酸拡散が無いため、ぼやけが発生しづらく、解像力やラフネスに有利とされている。

実際解像力では化学増幅型よりも良い結果も報告されているが、成膜後の安定性が悪い問題や、ネガ型しかない点、欠陥低減がまだ十分ないなど問題もあり、継続して検討されている。

また塗布型ではなく蒸着膜を形成してそれをレジストにする Dry レジストプロセスも提案されている<sup>11)</sup>。上記メタルクラスタに近い考えであるが、現像も Dry エッチングを用いることで、パターン倒れを抑制できる。また環境面でも化学廃棄物が少ないという面が提唱されている。ただ蒸着にて膜形成には長い処理時間が必要となり、スループットが問題となる。

### 3.5 High NA 世代に向けて

更なる微細化にむけて NA 0.55 の High NA 露光機が開発中であり 2025 年には量産機がリリースされるとのことである<sup>12)</sup>。光学系において反射角の制限からマスクの倍率が X/Y で 4 倍/8 倍と偏倍の設定となり、露光面積も半分になりスループット低下の要因となっている。装

表3 TiN removerのエッチングレート（ブランケットウェハー）

#6 TiN remover	Etching rate (Å/min)					#7 TiN remover	Etching rate (Å/min)		
	TiN	ILD	TEOS	SiON	Cu		TiN	W	Mo
	202.2	0.5	0.6	0.8	2.6		208	2	17

#7 TiN removerは2024年現在開発中の製品である。#6の設計と異なりW, Moへの防食作用を持たせることをコンセプトに開発を進めており、強酸化剤と酸の組み合わせによる高いTiNエッチング性と、独自の防食剤設計による金属防食により、高いTiN/WおよびTiN/Moのエッチング選択比を達成した。今後先端ノード向けにリリースを予定している。#6, #7について、ブランケットウェハーを用い測定したエッチングレートを表3にまとめた。

## 2.4 機能性洗浄剤の技術動向

半導体デバイス構造の微細化に伴い、半導体向け洗浄剤には新たな特性が求められるようになってきている。代表的な項目を以下に示す。

### 2.4.1 省液化

コストダウンを目的に、枚葉洗浄装置メーカー各社は、薬液使用量を数十パーセント低下～半減させても従来通りの性能を維持できる装置のリリースを開始している。薬液吐出量が減少すると、スピン洗浄時の液膜が薄くなり、パーティクル異物の排出性が低下する。薬液としては、液中パーティクルを極限まで除去した高品質な製品が望まれる。また、少液ではウェハー上での展開性が悪く、カバレッジが低下する。物性としては低接触角、低粘度が望ましいが、低粘度化によりウェハー上での保持時間が短くなると洗浄性とのトレードオフが課題となる。

### 2.4.2 低温化

省液化に伴い、40℃以上の高温プロセスではウェハー中央部から外周部にかけて温度差が発生しやすくなる。薬液吐出ノズルをスweepさせるなどの対策もあるが、液ハネや面内均一性を最適化した洗浄シーケンスをデバイスウェハー毎に作成することは大変な労力であるため、薬液は低温で作用する方が好ましい。低温であれば省エネルギー運用が可能であり、装置部材へのダメージも低減できるため、35℃以下の低温プロセスに適応した薬液開発が求められている。

### 2.4.3 リサイクル性

フッ化水素酸等のバルク薬液での半導体洗浄では、ウェハー処理後の薬液を回収、濾過し、複数回ウェハー処理に用いられることが多い。この運用が機能性洗浄剤にも広げられてきており、繰り返し使用を前提とした薬液設計が必要となってきている。具体的には、ウェハー処理時に除去した物質のイオンによる性能への影響が無いこと、長時間薬液ライン中を加熱循環しても成分変動が無いことなどが挙げられる。パーティクルの混入は通常のフィルターで除去できるが、イオン除去フィルターは高価かつ短寿命であり適用出来ないことも多いため、性能に影響の出やすいSiやAlなどは設計段階から低エッチングレートを担保しておく必要がある。成分変動につい

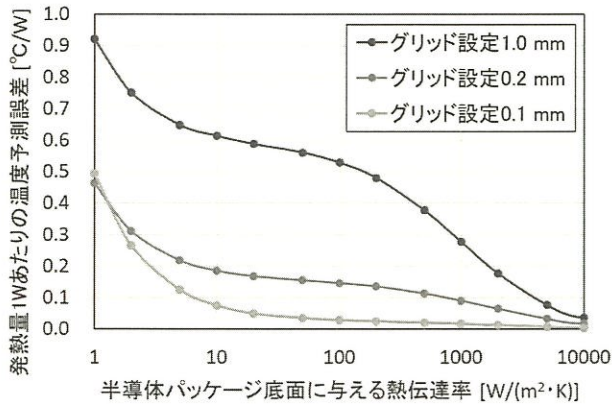


図3 グリッド設定の違いによる温度予測結果への影響

設定は決して粗い設定ではないが、半導体パッケージの内部構造はもっと微細であり、1.0 mm のグリッド設定では熱の流れを十分に再現できず、温度予測誤差が大きくなってしまっている。また、温度予測誤差は、半導体パッケージ底面に与える熱伝達率（つまり、冷却の程度）によっても変化することが分かる。いずれにしても、微細な内部構造を有する半導体のジャンクション温度を精度良く予測するには、十分に細かいグリッドを設定する必要があると言える。しかし、機器もしくは電子回路基板の規模で考えると、半導体パッケージの適切な温度予測に必要なグリッドサイズはかなり細かい。そして、そのような詳細なグリッドを設定すると、シミュレーションの計算コストが増大し、製品の設計・開発サイクルに収まらなくなってしまう恐れがある。これが半導体パッケージの熱モデルにおける一つめの課題である。

半導体パッケージの熱モデルには、実は、もう一つ課題がある。それは、半導体パッケージの内部構造の入手性である。通常、半導体製品の詳細な内部構造は、半導体メーカーの知的財産であり、開示されない。つまり、3次元熱モデルは、半導体メーカー以外は作成できない。また、詳細な内部構造を含む3次元熱モデルが半導体メーカーから提供されることも通常ない。これでは、半導体の温度予測を行うことができず、効率的な電子機器の開発ができなくなってしまう。

以上の通り、3次元熱モデルには、2つの課題がある。これらを解決する手段として、上述の3次元熱モデルとは異なるアプローチによる熱モデルが登場することになった。次節では、それらについて紹介する。

## 2.4 3次元熱モデルの課題への対応と新たな熱モデルの規格化

### 2.4.1 半導体パッケージのコンパクト熱モデル

半導体パッケージの内部構造を開示することなく作成できる半導体の熱モデルとして、CTMがある。CTMは、データシート等に記載される半導体パッケージの外形形状と数学的な内部表