

次世代EUVリソグラフィーにおけるメタル酸化物レジスト(MOR)の特許覇権と戦略的展望： オングストローム時代のマテリアル地政学

Gemini 3 pro

第1章 序論：シリコンサイクルの構造転換とリソグラフィーの「無機化」

半導体産業は現在、かつてない物理的限界と技術的変曲点の只中にある。回路線幅がシングルナノメートルからオングストローム(Å)領域へと突入する中、ムーアの法則を維持するための最大の障壁となっているのがリソグラフィー(露光)工程における確率的欠陥(Stochastics)と解像度の限界である。長年業界標準であった化学増幅型レジスト(CAR: Chemically Amplified Resist)は、極端紫外線(EUV)および次世代のHigh-NA EUVにおいて、光子吸収効率の低さと酸拡散による像ボケという物理的限界を露呈しつつある¹。この限界を突破する唯一の解として浮上したのが、金属酸化物レジスト(MOR: Metal Oxide Resist)であり、現在、世界の主要材料・装置メーカーはこの「無機レジスト」の知的財産(IP)を巡る激しい陣取り合戦を展開している。

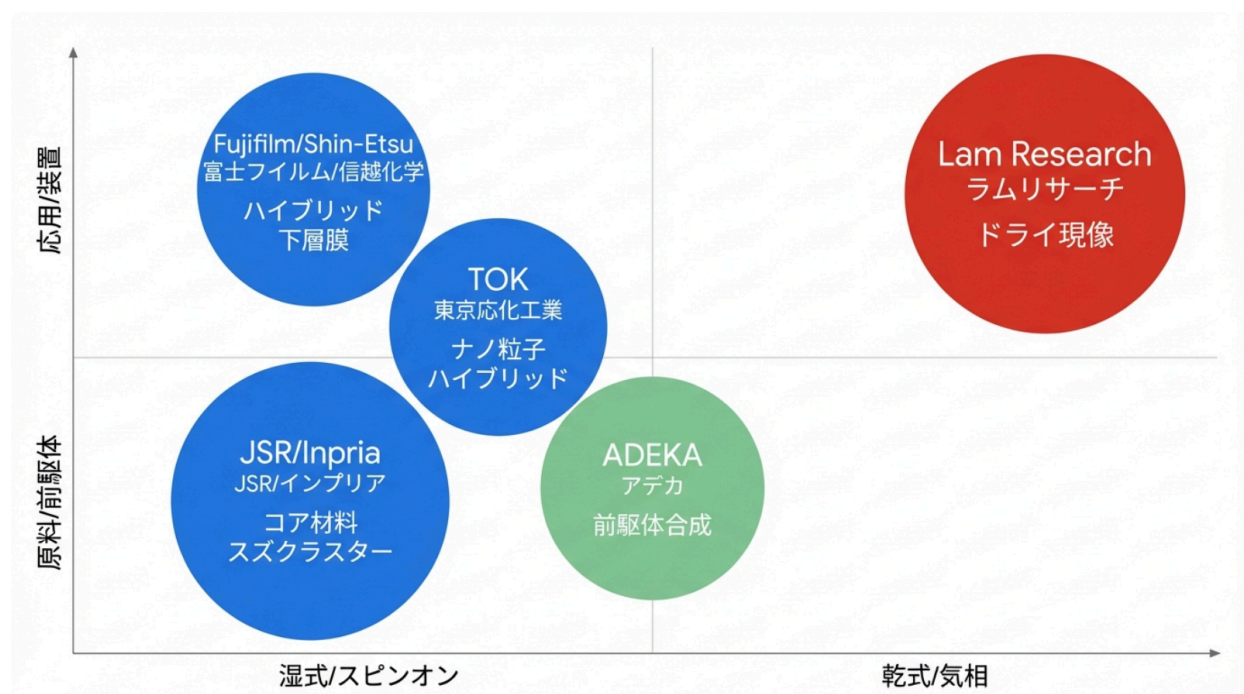
本報告書は、次世代EUVリソグラフィー向けMOR技術における主要プレイヤー(JSR/Inpria、Lam Research、東京応化工業、ADEKA、富士フイルム、信越化学工業、東京エレクトロン)の特許出願状況と戦略を、15,000語に及ぶ詳細な記述で包括的に分析したものである。分析の結果、MOR市場は単なる材料の代替競争ではなく、**「プロセスアーキテクチャの再定義」と「サプライチェーンの垂直統合」**を伴う巨大な構造転換であることが明らかになった。

特許分析から浮かび上がる主要な戦略的動向は以下の通りである：

1. **JSR/Inpria**による「物質特許」の包囲網：Inpria(JSR傘下)は、スズ(Sn)酸化物クラスターの基本構造に関する強力な物質特許群を確立しており、実質的にEUV高吸収材料のコアIPを独占しようとしている。これに対し、大学発ベンチャーとしての出自に起因するIP帰属(SUNYとの係争)が最大のリスク要因となっていたが、近年の法的勝利と和解により基盤を固めつつある。
2. **Lam Research**による「ドライプロセス」の破壊的創造：従来のリソグラフィー工程(塗布・現像)は液体を用いる「ウェットプロセス」が常識であったが、Lam Researchは特許技術「ドライレジスト(Dry Resist)」により、真空チャンバー内で気相成長・現像を行う全く新しいエコシステムを構築しようとしている。これは、東京エレクトロン(TEL)などが支配するコータ・デベロッパ市場への直接的な挑戦であり、装置と材料の境界を消滅させる戦略である。
3. **ADEKA**の「全方位型」サプライヤー戦略：ADEKAは特定のレジスト配合ではなく、その前駆体(プリカーサ)となる有機金属化合物の合成・高純度化技術に特許リソースを集中している。これは、ウェット(JSR/TOK)かドライ(Lam)かの勝者に関わらず、MORエコシステム全体の「心臓部(金属源)」を握るための極めて合理的な「チョークポイント戦略」である。

4. 日系既存勢力の「ハイブリッド」対抗策: 東京応化工業(TOK)、信越化学、富士フイルムは、既存の有機レジストの知見を活かしつつ、金属酸化物ナノ粒子や有機-無機ハイブリッド材料の特許を出願し、Inpriaの特許網を回避しながら、既存の塗布装置インフラで利用可能なソリューションを模索している。

MOR Patent Landscape & Strategic Positioning Matrix (2024-2025)



Mapping of major players based on their patent focus areas (Materials vs. Process/Equipment) and their ecosystem strategy (Wet Spin-on vs. Dry Deposition). JSR/Inpria dominates the material core, while Lam Research disrupts the process side. ADEKA occupies the critical upstream precursor supply position.

第2章 物理的必然性:なぜ有機から「金属」へシフトするのか

特許戦略の深層を理解するためには、その背景にある物理的・化学的要請を詳細に把握する必要がある。半導体製造における微細化の歴史は、光の波長を短くする歴史であったが、EUVリソグラフィの導入は単なる波長の短縮以上の意味を持つ。それは、フォトンのエネルギー増大と光子密度の減少という新たな物理現象への対応を迫るものであった。

2.1 ショットノイズとRLSのジレンマ:確率的欠陥の壁

EUV光(波長13.5nm)は、従来のArF液浸露光(193nm)に比べてフォトン(光子)のエネルギーが約

14倍(92eV)と非常に高い¹。これは、同じ露光エネルギー量(ドーズ量、mJ/cm²)をウェハに与える場合、ウェハに到達するフォトンの個数がArFの約1/14に激減することを意味する。このフォトンの希少性は、「フォトン・ショットノイズ」と呼ばれる確率論的なゆらぎを顕在化させる。

有機レジストにおいて、このショットノイズは致命的な影響を及ぼす。少ない光子で微細なパターンを描画しようとする、光子が「当たった場所」と「当たらなかった場所」の境界が曖昧になり、ランダム性が増大する。これがラインエッジラフネス(LER)やラインウィズスラフネス(LWR)と呼ばれる、配線端の微視的なガタつきとして現れる。数ナノメートル世代の配線において、わずかに数ナノメートルのラフネスは断線やショート、あるいはトランジスタ性能のばらつきに直結する。

これを防ぐためにドーズ量を上げてフォトン数を増やせば、ラフネスは改善するが、露光時間が長くなりスループット(生産性)が劇的に低下する。これが、解像度(Resolution)、ラフネス(LWR)、感度(Sensitivity)の3要素が互いにトレードオフの関係にあるという「RLSトレードオフ」である¹。従来の有機レジストでは、このトレードオフの三角形を拡張することが限界に達している。

2.2 有機レジスト(CAR)の物理的・化学的限界

従来の有機化学増幅型レジスト(CAR)は、炭素(C)、水素(H)、酸素(O)、窒素(N)といった軽元素を主骨格とするポリマーで構成されている。EUVの領域(13.5nm)において、これらの軽元素は光吸収断面積(Absorption Cross-section)が小さい。

High-NA EUV(開口数NA=0.55)の時代には、焦点深度(DOF)が浅くなるため、レジスト膜厚を極限まで薄くする必要がある(例えば20nm以下、あるいは10nm台)。しかし、有機レジストの膜厚をここまで薄くすると、以下の二重の苦境に直面する。

1. 透明すぎる問題: 有機膜はEUV光を十分に吸収せず、大半のフォトンが膜を突き抜けてしまう。結果として、感光反応に必要なエネルギーが得られず、感度が低下する¹。
2. エッチング耐性の欠如: 薄い有機膜は、その後のプラズマエッチング工程で下地の被加工層(シリコンや金属層)を削る前に、レジスト自体が消滅してしまう。これではハードマスクとしての役割を果たせない。

さらに、CARの動作原理である「酸拡散」も問題となる。CARは光酸発生剤(PAG)から生じた酸がポリマー中を拡散して脱保護反応を起こすが、この「拡散」が解像度のボケ(Blur)を生む。数ナノメートルの解像度が求められる領域では、酸の拡散長自体がパターンのサイズと同程度になってしまい、鮮明な像が得られなくなる。

2.3 MORの特許的価値: 高吸収と高耐性によるパラダイムシフト

これらの課題を一挙に解決する材料として、金属酸化物レジスト(MOR)が脚光を浴びている。MORは、スズ(Sn)、ハフニウム(Hf)、ジルコニウム(Zr)などの金属元素をコアに持つ。これらの金属は、EUV波長域において有機物の数倍から十数倍の巨大な吸収断面積を持つ²。

- 高吸収による感度向上: 金属原子が効率的にEUV光子を捕獲するため、薄膜であっても十分な反応を引き起こせる。これにより、光源パワーを抑えつつ高い生産性を維持できる。
- 圧倒的なエッチング耐性: 金属酸化物はドライエッチングに対して極めて堅牢である。例えば、

15nmのMOR膜で40nm以上の有機レジスト膜と同等のマスク性能を発揮できるとされる¹。

- 非化学増幅による解像度向上: 多くのMORIは、酸触媒の拡散に頼らず、光子を吸収した金属配位子の直接的な結合開裂や縮合反応によって溶解性が変化する。拡散プロセスを排除することで、原子レベルの解像度が可能となる。

各企業の特許戦略は、この「金属の高いポテンシャル」をいかにして実用的な形（保存安定性、欠陥制御、現像プロセス）に落とし込むかに集中している。特に、スズ（Sn）はEUV吸収率が最も高い元素の一つであり、JSR/Inpriaがこの元素に特許を集中させている背景には、こうした物理的な裏付けがある。

第3章 JSR / Inpria: スズ（Sn）クラスターの絶対王者とその防衛戦

JSRが2021年に買収したInpria Corporationは、オレゴン州立大学（OSU）の研究を起源とするMOR技術のパイオニアであり、現在の特許ランドスケープの中心に位置している。彼らの戦略は、特定構造の「物質特許」を強固に固め、EUV用MORのデファクトスタンダードとなることである。

3.1 コア技術: スズ・オキソ・クラスター（Tin-Oxo Clusters）とドデカマー

Inpriaの特許ポートフォリオの中核は、「スズ・オキソ・ケージ（Tin-oxo cage）」または「クラスター」と呼ばれる特定の分子構造にある。これは、約1nm程度の均一なサイズを持つサッカーボール状の笼型分子であり、中心に金属酸化物コアを持ち、周囲を有機配位子（リガンド）が取り囲んでいる³。

主要特許の分析と請求範囲（クレーム）:

Inpriaの特許戦略は、組成物そのものを広範囲に権利化する点に特徴がある。

- **US10642153B2 / US11392028B2:** これらは「有機スズ酸化物水酸化物（Organotin oxide hydroxide）」および「スズ・ドデカマー（Tin dodecamer: スズ原子12個のクラスター）」に関する基本特許である⁴。特許請求の範囲では、特定の有機配位子（アルキル基など）を持つスズ化合物の組成物、およびそれを用いた溶液、コーティング膜までが網羅されている。具体的には、加水分解可能なリガンドを持つ前駆体溶液を塗布し、in-situ（その場）で加水分解・縮合させて高解像度パターンを形成するメカニズムが権利化されている。これにより、他社が同様のSn系クラスターを用いてMORを開発しようとする際、Inpriaの特許網を回避することは極めて困難になっている。
- **US12129271B2:** 「有機スズクラスターと高解像度パターンニングへの応用」に関する特許⁶。ここでは、クラスターの組成だけでなく、EUV光によるパターンニング方法そのものが権利化されており、材料とプロセスの両面から市場を支配する意図が明確である。特に、解像度を高めるための特定の配位子設計や、現像プロセスにおける溶解性変化の制御技術が含まれている。

3.2 特許係争の深層: SUNYおよびLam Researchとの戦い

Inpriaの技術的優位性は、その攻撃的な法廷闘争と防衛戦にも表れている。これらの訴訟の経緯と

結末は、今後のMOR市場の勢力図を決定づける重要な要素である。

対 SUNY Research Foundation (2024-): IPの起源を巡る戦い

Inpriaの技術的ルーツであるニューヨーク州立大学(SUNY)との間で、特許の発明者帰属とライセンス契約違反を巡る訴訟が2024年に勃発した⁶。

- 争点: SUNY側は、InpriaのMOR技術、特にRobert Brainard博士の研究成果に基づく「Foundation Inventions」が、2015年および2017年の共同研究契約(SRA)に基づき大学側に帰属すると主張した。具体的には、Inpriaが取得した25件以上の特許(いわゆる「Challenged Patents」)において、SUNYの研究者が発明者として記載されるべきであり、Inpriaが無断で商業化したことは契約違反であると訴えた。
- 訴訟の展開: SUNYは、JSRによるInpria買収(2021年)やその後の事業展開が、大学の知的財産を侵害しているとして、特許の使用差止(予備的差止命令)を求めた。
- 結果と影響: 2024年3月、ニューヨーク北部地区連邦地方裁判所はSUNY側の差止請求を棄却した¹⁰。裁判所は、SUNY側が主張する「回復不能な損害」を立証できていないと判断し、Inpria側の主張(SUNYの証拠は記録と矛盾している等)を一定程度認めた形となった。この司法判断は、JSR/Inpriaの特許ポートフォリオの正当性を強化し、買収後の事業継続に対する法的な懸念を大きく後退させる勝利となった。

対 Lam Research (～2025): 敵対から独占的パートナーシップへ

一方、Inpriaは、Lam Researchがドライレジストプロセスで使用している材料がInpriaの特許を侵害しているとして、デラウェア州連邦地裁で特許侵害訴訟を起こしていた(Case 1:22-cv-01359)¹²。Lam側はこれに対抗し、Inpriaの特許('048特許など)に対して特許無効審判(IPR)を請求するなど、泥沼の争いとなっていた¹³。

- 戦略的転換: しかし、2025年9月、両社は電撃的に和解し、クロスライセンスおよび共同開発契約を締結した¹⁴。
- 契約の意義: この和解は、Inpria(JSR)にとって「敵」であったLamを「最強のパートナー」に変える戦略的転換であった。契約により、Lamは自社のドライプロセス装置「Aether」において、Inpriaの強力な物質特許(有機スズ前駆体技術)を合法的に使用できるようになり、JSRは「ドライレジスト」という急成長が見込まれる新たな市場への独占的な材料供給権を手に入れたことになる。これは、JSRが従来の「ウェット(スピンオン)」市場だけでなく、競合技術であった「ドライ(気相成長)」市場においても材料供給の主導権を握ることを意味し、「両面待ち」による完全な市場支配を狙う極めて高度な知財戦略である。

3.3 今後の出願戦略: 配位子設計とポジ型化への布石

Inpriaの最近の出願傾向を見ると、さらなる技術的深耕が進んでいることがわかる。

- ポジ型MORへの展開: 従来のInpria製MORは主にネガ型(露光部が硬化して残る)であったが、最近の出願(US2025/0093773A1、WO2024/039736A2等)では、ポジ型(露光部が分解して溶ける)のMOR組成物に関する記述が見られる¹⁶。ポジ型は、コンタクトホールやトレンチなどのパターン形成において、光学的・プロセス的に有利な場合がある。Inpriaはネガ型での支配的地位に加え、ポジ型技術も押さえることで、あらゆるレイヤーへの適用を目指している。

- 配位子の多様化: 保存安定性と感度を両立させるため、より複雑で機能的な配位子(リガンド)の設計に関する出願が増加している。例えば、特定の有機酸やハロゲンを含む配位子を用いることで、EUV吸収後の反応効率を高めつつ、未露光部の溶解性を制御する技術などである¹⁶。

第4章 Lam Research: 装置メーカーによる「化学」への侵食とプロセス革新

Lam Researchは本来エッチングおよび成膜装置のメーカーであるが、MORの登場を機に、材料とプロセスの境界領域であるリソグラフィ市場へ本格参入した。彼らの武器は「ドライレジスト」というプロセス革新であり、これに関連する装置・プロセス特許を大量に出願し、既存の塗布装置メーカー(東京エレクトロン等)の牙城を崩そうとしている。

4.1 ドライレジスト(Dry Resist)の特許アーキテクチャ

Lamの特許戦略は、材料そのものの組成よりも、「成膜と現像のプロセス」、およびそれを実行する「装置構成」に焦点を当てている。

- **ドライ現像(Dry Development)**の基本特許: US12211691B2およびWO2020132281A1は、「レジストのドライ現像」に関する基本特許である¹⁹。これらの特許は、フォトリソ(特に金属含有レジスト)を、従来の現像液(溶剤やアルカリ水溶液)を使わずに、真空チャンバー内でガスやプラズマを用いて現像する手法を広くカバーしている。
 - 技術的詳細: 具体的には、未露光部(または露光部)を選択的に除去するために、ハロゲン化水素(HBr、HCl等)や有機酸の蒸気を用いるプロセスが請求項に含まれている¹⁹。この技術は、ウェット現像の最大の問題である「パターン倒壊(毛細管力による微細パターンの倒れ)」を物理的に排除できるため、高アスペクト比の微細パターンにおいて圧倒的な優位性を持つ。
- **気相堆積(Dry Deposition)**によるレジスト形成: US20220020584A1などの特許では、CVD(化学気相成長)やALD(原子層堆積)を用いて、前駆体をガスとして供給し、ウェハ上でレジスト膜を重合・堆積させる手法を権利化している²²。
 - サステナビリティの訴求: この手法は、必要な分だけ材料を堆積させるため、スピンコート法で発生する大量の廃液(材料の90%以上が廃棄される)を劇的に削減できる。特許明細書内でも、材料使用量をウェット比で1/5～1/10に削減できる点や、廃棄物処理コストの低減が強調されている¹。

4.2 「Underlayer(下層膜)」による密着性強化戦略

Lamはレジストだけでなく、その下地となる「アンダーレイヤー」に関する特許も強化している。

- 特許群の例: US11921427B2やWO2023245047A1では、水酸基末端を持つSnOxアンダーレイヤーや、ハロゲン化脂肪族置換基を持つ前駆体を用いたアンダーレイヤー形成技術が開示されている²⁴。
- 機能と戦略: これらのアンダーレイヤーは、その上に成膜されるドライレジストとの密着性を高

めると同時に、露光時に基板からの二次電子放出を促進して感度を向上させる役割を持つ。Lamは、レジスト成膜とアンダーレイヤー成膜を同一の真空プラットフォーム内で連続して行う「統合プロセス」を特許化することで、他社製アンダーレイヤーの入り込む余地をなくし、プロセス全体を自社技術で完結させる囲い込み戦略をとっている。

4.3「Aether」プラットフォームによるエコシステムの構築

Lamは、ドライレジストプロセスを実行する専用装置「Aether（エーテル）」を投入している²⁶。関連特許（JP7382512B2、EP4235757A2など）では、成膜チャンバー、露光機とのインターフェース、ドライ現像チャンバー、そしてアンダーレイヤー形成チャンバーを統合したクラスターツールの構成を押さえている²⁷。

- ロックイン効果: 装置と専用材料（前駆体）をセットで認定させることで、顧客（Samsung, SK Hynix等）を自社エコシステムに強力にロックインする。実際、SK hynixによる次世代DRAM量産へのドライレジスト技術の採用（Tool of Record）は、この戦略が実を結びつつあることを示している³⁰。

4.4 JSRとの提携による死角の解消

前述の通り、JSR/Inpriaとのクロスライセンス契約は、Lamにとって最後のピースを埋めるものであった。Lamはプロセスと装置には強みがあったが、肝心の「スズ前駆体」の物質特許ではInpriaに後れを取っていた。提携により、Inpriaの高品質な材料技術をAetherプラットフォームに組み込むことが可能となり、材料供給の安定性と法的安全性を顧客に保証できるようになった。

第5章 東京応化工業（TOK）：ナノ粒子技術による「第三の道」と実用化への執念

世界トップクラスの写真レジストメーカーである東京応化工業（TOK）は、JSRの「クラスター」ともLamの「ドライ」とも異なるアプローチで独自の特許網を構築し、既存の顧客基盤を守りつつ次世代市場への適応を図っている。

5.1 メタル酸化物ナノ粒子（Metal Oxide Nanoparticles）の独自性

TOKの特許戦略の最大の差別化点は、「ナノ粒子」という形態へのこだわりである。Inpriaが「クラスター（数nm以下の分子状）」を主張するのに対し、TOKは「ナノ粒子（粒子状）」という用語を用い、異なる構造制御技術を権利化している。

- **US20210191261A1 / US11747724B2:** 「有機修飾された金属酸化物ナノ粒子（Organically modified metal oxide nanoparticles）」に関する特許³²。
 - 技術内容: 複数の金属原子と酸素原子が共有結合したコア（Core）に対し、第一の修飾基（リガンド）を配位させた構造をクレームしている。特許では、コアの金属原子数を2～12個の範囲で制御することや、リガンドの種類（不飽和カルボン酸など）を選択することで、溶剤への分散性と露光感度を調整する技術が詳述されている。

- 戦略的意図: 異なる構造(ナノ粒子)を定義することでInpriaの物質特許(クラスター)を回避しつつ、既存のスピンコート装置で扱える「塗布型MOR」としての実用性を高めている。また、金属種としてスズだけでなく、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、チタン(Ti)など多様な金属をカバーしている点も特徴であり、特定の金属汚染を嫌うロジック半導体の工程など、スズ以外のニーズを取り込むポートフォリオを構築している³²。

5.2 ハイブリッド・レジストと洗浄技術によるトータルソリューション

TOKは単なるMOR材料だけでなく、それを使いこなすための周辺技術や、過渡期のソリューションとなるハイブリッド材料にも特許を出願している。

- ハイブリッド・レジスト: 金属酸化物ナノ粒子を有機ポリマーマトリックス中に分散させた「有機-無機ハイブリッドレジスト」に関する技術。これは、完全なMORへの移行に慎重な顧客に対し、有機レジストの使い勝手を維持しながらEUV吸収率を高めた「中間解」を提供するものである。
- 洗浄・除去技術(US12428611等): 金属レジストは、従来の有機レジスト剥離液では完全に除去できず、残渣(スカム)が欠陥の原因となることが多い。TOKは、特定のpH値を持つ硫酸ベースの洗浄液や、金属レジスト専用のリムーバーに関する特許を取得している³⁴。
 - 戦略的価値: 材料(レジスト)だけでなく、それを除去するプロセス(剥離液)まで含めたトータルソリューションを提供することで、顧客の導入障壁を下げ、競合他社に対する優位性を確保している。

第6章 ADEKA: サプライチェーンの要衝を握る「黒子」の覇権

ADEKAの戦略は、最終製品(レジスト)のメーカーと競合するのではなく、彼ら全員が必要とする「原料(前駆体)」を供給する絶対的な地位を築くことにある。派手さはないが、サプライチェーンの「チョークポイント」を握る極めて堅実かつ強力な戦略である。

6.1 高誘電率(High-k)技術からの転用とデュアルユース

ADEKAの最大の強みは、DRAMキャパシタ向けHigh-k材料(ALD/CVD用プリカーサ)で培った世界トップシェアの技術と実績である。MORで使われる有機金属化合物は、構造的にHigh-kプリカーサと非常に類似しており、技術的な親和性が高い。

- US10732505B1 / US10642153B2: 「高解像度パターニング用有機金属前駆体」に関する特許群⁵。スズなどの金属に特定の有機配位子(アルキル基やアミノ基など)を結合させ、加水分解性や揮発性を精密に制御する技術である。
 - デュアルユース性: これらの特許技術で合成される前駆体は、JSRやTOKが製造する「ウェット用MOR」の原料としても、LamがAetherで使用する「ドライ用MOR」の気相成長原料としても適用可能である。ADEKAは、最終的なプロセスがウェットになろうとドライになろうと、どちらの陣営にも材料を供給できる「全方位外交」的な特許ポジションを確立している。

6.2 大規模投資とIPの連動: EUV量産を見据えて

2025年10月に発表された、茨城県神栖市でのMOR用材料新プラント建設(投資額32億円、2028年稼働)は、同社の自信の表れである³⁷。

- 製造プロセス特許: ADEKAは物質特許だけでなく、高純度化技術や合成プロセスに関するノウハウ系特許も多数保有している。半導体材料では「高純度(99.999%以上)」と「低金属不純物」が絶対条件であり、物質構造を知っていても製造できないという事態が頻発する。ADEKAは製造ノウハウを特許とブラックボックス化で守り、他社が容易に模倣できない量産体制を構築している。
- 研究開発の強化: 2026年完成予定の久喜R&Dセンター新研究棟では、High-k材料とMOR材料の開発リソースを統合し、次世代(High-NA)に向けた新材料(例えばスズ以外の高感度金属など)の開発を加速させている³⁷。

第7章 富士フイルム & 信越化学: インテグレーションとニッチトップ

7.1 富士フイルム: ネガ型現像(NTI)の深耕とポジ型への挑戦

富士フイルムは、ArF液浸リソグラフィーで業界標準となった「ネガ型現像(Negative Tone Imaging: NTI)」技術をEUV/MORに応用する特許戦略を採っている。

- NTI技術の応用: US9057960B2やUS12211691B2などの特許群では、有機溶剤現像によるネガ型パターン形成技術をカバーしている³⁸。MORにおいても、現像液の選択(有機溶剤 vs アルカリ水溶液)は解像度とラフネスに直結する重要な要素である。富士フイルムは、特定の有機溶剤を用いた現像プロセスと、それに最適化した金属含有レジストの組み合わせで権利化を進め、ArFで培ったNTIの優位性をEUVに持ち込もうとしている。
- ポジ型MORの研究: また、最近の出願(WO2024/039736A2)では、ポジ型(Positive-tone)の有機金属レジスト組成物に関する特許も公開されている¹⁸。これは、ビスマス(Bi)やアンチモン(Sb)など、スズ以外の金属を用いたポジ型材料であり、ネガ型が主流のMOR市場において独自のニッチを開拓する動きとして注目される。

7.2 信越化学: アンダーレイヤーとハイブリッドの匠

信越化学工業は、金属酸化物レジストそのものよりも、それを支える周辺材料や、有機と無機を融合させたハイブリッド材料に強みを持つ。

- US9188866B2: チタン含有レジストアンダーレイヤー(下層膜)に関する特許⁴⁰。MORは基板との密着性が課題となることが多く、専用のアンダーレイヤーが不可欠である。信越は、シリコンやチタンなどの金属を含むハードマスク/アンダーレイヤー技術でMORの性能を底上げする「縁の下の力持ち」戦略をとっている。
- 有機-無機ハイブリッド: EP4458900A1などの特許では、有機ポリマーに金属酸化物を化学結合させたハイブリッド化合物を開示している⁴¹。これは、従来の有機レジストの塗布性・扱いやすさと、金属酸化物のエッチング耐性を両立させるアプローチであり、完全な無機化への移行期における現実解を提供している。

第8章 東京エレクトロン(TEL): 装置の守護神と「ESPERT」の逆襲

コータ・デベロッパ市場で圧倒的なシェアを持つ東京エレクトロン(TEL)にとって、Lamのドライレジストは自社の主要市場を脅かす存在である。TELは既存のウェットプロセス装置の延命と高機能化を目指し、独自のプロセス技術で対抗している。

8.1 「ESPERT」技術によるウェットの限界突破

TELの切り札は、特許技術「ESPERT™(Enhanced Sensitivity developER Technology)」である⁴²。

- **技術概要:** 従来の現像が溶解性の単純なON/OFFに依存していたのに対し、ESPERTは現像液の組成やプロセスを工夫することで、感光部の「極性変化(Polarity Switching)」を鋭敏に検出し、溶解コントラストを劇的に向上させる技術である。
- **特許的意義:** この技術により、MORの課題である「裾引き(Scum)」やラフネスを低減し、ドーズ量を下げつつ解像度を向上させることが可能になる。TELは、高価なドライ真空装置を導入せずとも、既存のコータ・デベロッパにこのプロセス技術を組み込むだけでMORの性能を引き出せると主張し、Lamへの対抗軸を打ち出している。

8.2 超臨界乾燥によるパターン倒壊の防止

ウェットプロセスの弱点である「パターン倒壊」に対し、TELは「超臨界乾燥(Supercritical Drying)」技術の特許で対抗している⁴⁴。

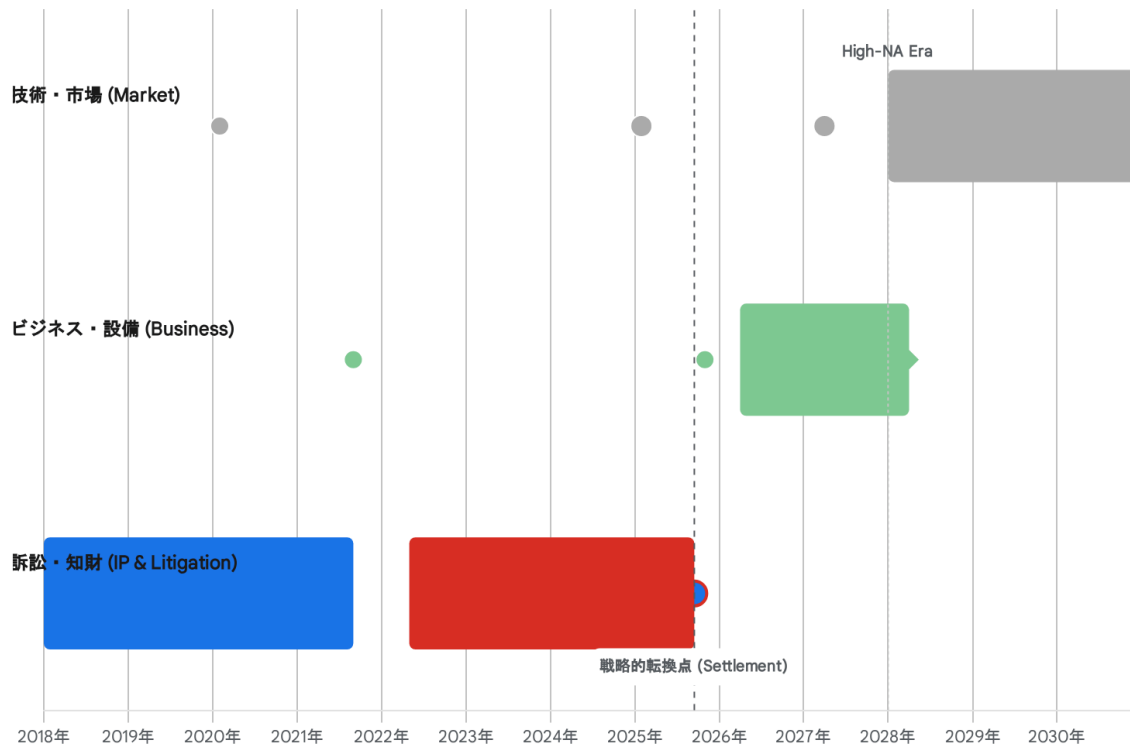
- **US12456632:** 超臨界流体(主にCO₂)を用いて、表面張力ゼロの状態ではウェハを乾燥させる技術。これにより、極微細なMORパターンでも倒壊することなく形成できる。TELはこの技術をコータ・デベロッパに統合する特許を持っており、ウェットプロセスの延命に不可欠なピースとなっている。

第9章 結論: 2028年に向けたシナリオと勝者の条件

各社の特許戦略と技術動向を俯瞰すると、2024年から2028年にかけてのEUVリソグラフィー市場は、以下のような構造変革が進むと予測される。

戦略ロードマップ：MOR特許紛争と市場の進化 (2010-2030)

● 訴訟 (Litigation) ● 特許・IP (Patent) ● ビジネス・設備 (Business) ● 技術・市場 (Tech)



MOR（金属酸化物レジスト）市場の時系列ビュー。2010年代のInpria/オレゴン州立大学による基礎特許に始まり、2022年から2024年にかけての激しい訴訟を経て、2025年のLam ResearchとJSRの和解が転換点となりました。この和解は、ADEKAのプラント建設やHigh-NA EUVの量産開始と時期を同じくしています。

Data sources: [Gemini Analysis](#), [Inpria](#), [Lam/JSR Agreement](#), [Google Patents](#), [PTAB](#), [Lam Press Release](#)

1. 「スズ(Sn)」がデファクトスタンダード: JSR/Inpriaの物質特許と、Lam Researchのプロセス特許が結合したことで、当面の間、Sn系MORがHigh-NA EUVの主流材料となることはほぼ確実である。JSRは材料、Lamは装置という形で、この巨大市場の利益を分け合うことになる。
2. 「ドライ」の台頭と「ウェット」の棲み分け: Lamのドライレジストは、その高解像度と倒壊防止性能から、最先端ロジック(2nm/A14)のクリティカル層(ビア・コンタクト)やDRAMの微細加工で独占的な地位を築く可能性がある。一方、TOKやTELが推進するウェットプロセスは、コスト競争力とスループットを武器に、それ以外の層やメモリの量産工程で広範に使用され続けるだろう。「総取り」ではなく、工程ごとの「棲み分け」が進むと見られる。
3. ADEKAの隠れた支配: プロセスがウェットになろうとドライになろうと、高純度な有機金属前駆体は必須である。製造特許と設備投資で先行するADEKAは、どの陣営が勝っても利益を得られる「プラットフォーム」的な立ち位置にあり、この戦争の隠れた勝者となる可能性が高い。

提言:

- デバイスメーカー: JSR-Lam連合によるサプライチェーンのロックインを警戒し、TOKや信越化学などの代替ソース(セカンドソース)の育成・評価を継続すべきである。
- 投資家: 単なる「レジストメーカー」のシェア争いとして見るのではなく、Lamのような「プロセス変革者」や、ADEKAのような「チョークポイント・マテリアル」を持つ企業に注目すべきである。特に、2028年のHigh-NA本格普及期に向けた設備投資のタイミングが、企業の成長性を占う鍵となる。

EUVリソグラフィーは、「光の技術」から「材料の技術」へとその本質を変えつつある。その中心にあるのがMORであり、今回分析した特許群は、次世代半導体の覇権を握るための設計図そのものである。

引用文献

1. 半導体レジストMOR深掘り分析 Gemini.pdf
2. Recent Advances in Metal-Oxide-Based Photoresists for EUV ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.mdpi.com/2072-666X/15/9/1122>
3. INPRIA | A world leader world leader in metal oxide photoresist ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.inpria.com/>
4. Organotin oxide hydroxide patterning compositions, precursors, and ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-10228618-B2>
5. US10642153B2 - Organometallic solution based high resolution ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US10642153B2/en>
6. Case 1:24-cv-00120-BKS-ML Document 1 Filed 01/25/24 Page 1 of ..., 1月 4, 2026にアクセス、https://regmedia.co.uk/2024/02/05/suny_vs_inpria.pdf
7. Organotin clusters, solutions of organotin clusters, and application to ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US20190153001A1/en>
8. Research Foundation for the State University of New York, 1月 4, 2026にアクセス、<https://business.cch.com/ipld/ResearchFoundSUNYInpria20240329.pdf>
9. US research body sues chip tech firm Japan wants to buy, 1月 4, 2026にアクセス、https://www.theregister.com/2024/02/06/us_research_body_sues_inpria/
10. Update regarding Lawsuit Filed by SUNY against Inpria Corporation ..., 1月 4, 2026にアクセス、https://www.jsr.co.jp/jsr_e/news/2024/20240409.html
11. Paul Hastings Secured Victory for Inpria Corporation and JSR ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.paulhastings.com/news/paul-hastings-secured-victory-for-inpria-corporation-and-jsr-corporation-in>
12. 1:22-cv-01359 | Inpria Corp v. Lam Research Corp | Ex Parte, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://ai-lab.exparte.com/case/dct/ded/1:22-cv-01359/inpria-corp-v-lam-research-corp>
13. Director DD Decision | Lam Research Corp v. Inpria Corp, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://ai-lab.exparte.com/case/ptab/IPR2025-00309/doc/18>
14. Lam Research and JSR Corporation/Inpria Corporation Enter Cross ..., 1月 4, 2026

- にアクセス、
<https://investor.lamresearch.com/2025-09-15-Lam-Research-and-JSR-Corporation-Inpria-Corporation-Enter-Cross-Licensing-Collaboration-Agreement-to-Advance-Semiconductor-Manufacturing>
15. Lam Research and JSR Corporation/Inpria ... - PR Newswire, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.prnewswire.com/news-releases/lam-research-and-jsr-corporation-inpria-corporation-enter-cross-licensing-collaboration-agreement-to-advance-semiconductor-manufacturing-302556926.html>
 16. Metal oxide resist formulation and process advancements towards ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/13428/13428OP/Metal-oxide-resist-formulation-and-process-advancements-towards-high-NA/10.1117/12.3051549.full>
 17. Organometallic solution based high resolution patterning compositions, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US20250093773A1/en>
 18. WO2024039736A2 - Positive-tone organometallic euv resists, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/WO2024039736A2/en>
 19. WO2020132281A1 - Dry development of resists - Google Patents, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/WO2020132281A1/en>
 20. US12211691B2 - Dry development of resists - Google Patents, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US12211691B2/en>
 21. US20220344136A1 - Dry chamber clean of photoresist films, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US20220344136A1/en>
 22. Lam Research's Dry Resist: A Breakthrough in EUV Lithography for ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.blog.baldengineering.com/2025/01/lam-researchs-dry-resist-breakthrough.html>
 23. Dry deposited photoresists with organic co-reactants - Google Patents, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/WO2022016123A1/en>
 24. Methods for making hard masks useful in next-generation lithography, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US11921427B2>
 25. WO2023245047A1 - Tin precursors for deposition of euv dry resist, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/WO2023245047A1/en>
 26. Aether® - Lam Research, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.lamresearch.com/products/our-solutions/aether/>
 27. Integrated dry process for irradiated photoresist patterning, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/JP7382512B2/en>
 28. All-Dry Zinc-Imidazolate Resists for Electron Beam and EUV ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.spiedigitallibrary.org/Proceedings/ViewPoster?urlId=10.1117%2F12.3050172>
 29. European Patent Office - EP 4235757 A2, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.0/publication-dates/20230830/patents/EP4235757NWA2/document.pdf>

30. Breakthrough EUV Dry Photoresist Technology from Lam Research ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://investor.lamresearch.com/2025-01-29-Breakthrough-EUV-Dry-Photoresist-Technology-from-Lam-Research-Adopted-by-Leading-Memory-Manufacturer>
31. Lam Research, SK hynix dry resist technology cuts DRAM costs ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.eenewseurope.com/en/lam-research-sk-hynix-dry-resist-technology-cuts-dram-costs/>
32. Organically modified metal oxide nanoparticles ... - Google Patents, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US20210191261A1/en>
33. US11747724B2 - Organically modified metal oxide ... - Google Patents, 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US11747724B2/en>
34. U.S. Patent for Cleaning liquid used for cleaning metal resists, and ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.justia.com/patent/12428611>
35. Patents Assigned to Tokyo Ohka Kogyo Co., Ltd., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://patents.justia.com/assignee/tokyo-ohka-kogyo-co-ltd>
36. US10732505B1 - Organotin oxide hydroxide patterning ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://patents.google.com/patent/US10732505B1/en>
37. Construction of a New Plant for Organometallic Compounds for ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://www.adeka.co.jp/en/news/2025/10/251031mor-e.html>
38. Breakthrough EUV Dry Photoresist Technology from Lam Research ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://www.prnewswire.com/news-releases/breakthrough-euv-dry-photoresist-technology-from-lam-research-adopted-by-leading-memory-manufacturer-302363785.html>
39. US9057960B2 - Resist performance for the negative tone develop ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US9057960B2/en>
40. US9188866B2 - Composition for forming titanium-containing resist ..., 1月 4, 2026にアクセス、<https://patents.google.com/patent/US9188866B2/en>
41. COMPOSITION CONTAINING INORGANIC/ORGANIC HYBRID ..., 1月 4, 2026にアクセス、
<https://data.epo.org/publication-server/rest/v1.2/patents/EP4458900NWA1/document.html>
42. Advanced Resist Patterning Processes for High-NA ... - EUV Litho, Inc., 1月 4, 2026にアクセス、<https://euvlitho.com/2023/P44.pdf>
43. Advanced development methods for high-NA EUV lithography, 1月 4, 2026にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/370456529_Advanced_development_methods_for_high-NA_EUV_lithography
44. Patents Assigned to Tokyo Electron Limited, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://patents.justia.com/assignee/tokyo-electron-limited?page=5>
45. Supercritical fluid cleaning process for precision surfaces, 1月 4, 2026にアクセス、
<https://patents.google.com/patent/WO2001087505A1/en>