

次世代EUVリソグラフィー用金属酸化物レジスト (MOR) の技術分析と業界展望

ADEKA開発MORの技術特性と製造プロセス (ALD技術との関連)

金属酸化物レジスト (MOR) の構造と特性: ADEKAが開発したMORは、スズ (Sn) やジルコニウム (Zr) などの**金属原子クラスター**を主成分とする次世代フォトレジストです ¹ ²。従来の有機系レジスト (CAR: Chemically Amplified Resist) が高分子ポリマーを主体とするのに対し、MORは**有機修飾された金属錯体**をベースとしており、EUV光 (波長13.5nm) に対する吸収率が飛躍的に高いことが特徴です ² ³。例えば、Inpria社 (JSR傘下) のSn-OベースMORは**EUV光の吸収効率が従来レジストの約5倍**と報告されており ³、これにより少ない光量で反応を起こせる高感度材料となっています。さらに、露光によって生成した金属酸化物は**エッチング耐性が桁違い (10~100倍)** に高く ³、レジスト自体がハードマスク並みの堅牢性を示す点も有機レジストとの大きな違いです。

技術的優位性 (有機レジストとの比較): 上記特性により、MORはEUVリソグラフィーの**解像度・感度・粗さ (RLS) トレードオフ**を大幅に改善できると期待されています。従来のCARでは微細パターン化において、感度を上げるとパターンがぼやけて解像度やライン幅粗さ (LWR) が悪化する問題がありました。しかしMORでは、高い吸収性によって**光が当たった部分だけをピンポイントに反応させる**ことが可能となり、**より微細なパターン形成と低ラフネス**を両立できます ⁴。また先述の通り**金属酸化物構造が非常に硬くエッチングに強い**ため、レジスト膜を極めて薄くしてもパターン転写に耐えうる点が優位性です ⁵。薄膜化は高NA露光で問題となる焦点深度の浅さに対応でき、パターン倒壊のリスクも低減します ⁶。実際、MORは**35nmピッチ以下の超微細パターン領域でCARより有利**とされ、High-NA EUVで要求されるレジスト膜の薄膜化にも対応可能と報告されています ⁷。総じてMORは、従来のCARが直面する**感度・解像度・LWRの限界を突破するゲームチェンジ材料**と位置付けられています ⁸ ⁹。

製造プロセスとALD技術との関係: ADEKAのMOR材料は、自社の強みである**ALD (原子層堆積) 材料開発のノウハウ**を応用して開発されました ¹⁰。ただし、現在主流のMOR材料の合成自体は湿式プロセスで行われます。典型的には**ゾルゲル法**などにより、有機リガンドで修飾した金属錯体クラスターを合成し ¹¹、これを溶剤に溶解してレジスト液として提供します ¹²。ADEKAは高誘電率 (High-k) 膜用ALD前駆体で世界シェアNo.1の実績があり ¹³、その**金属錯体合成技術**をMOR原料の開発に転用することで高純度かつ量産適な材料を実現しました ¹⁴。一方で、MORの適用にあたっては新たなプロセス手法も模索されています。Lam Research社は**ALDプロセスによるドライレジスト技術** (商品名「Aether®」) を2020年に発表しており、これはスピニングを使わず真空中でレジスト膜を成膜・現像する画期的手法です ¹⁵。ドライMORでは金属含有前駆体ガスをALD堆積して超均一薄膜レジストを形成し、露光後の未露光部をプラズマなどで**ドライ現像**します。この方式は液浸現像を伴わないため欠陥低減に有利とされ ¹⁶、高NA時代の新プロセス候補として注目されています (※Lam社によれば同技術は従来比**5~10倍の省エネ・薬剤削減効果**もあるとされています ¹⁷)。総じて、ADEKAは**湿式プロセスによるMOR材料供給**を担いつつ、自社ALD技術で将来のプロセス革新にも対応できるポジションにあります。

EUVリソグラフィーに求められるレジスト性能とMORの対応策

高NAを含むEUVリソグラフィー技術では、フォトレジストに以下のような厳しい性能が求められます。MORはその新材料コンセプトによって、これらの要求を満たしうると期待されています。

- **高感度 (High Sensitivity)** : 現行EUV光源の出力は依然低いため、レジストはできるだけ少ない露光エネルギーで反応する必要があります¹⁸。MORはSnやZrといった高原子番号元素を含むため13.5nmのEUV光を効率良く吸収でき、酸発生増幅を用いずとも十分な反応を起こせます²。例えばADEKAのMOR材料では高Z金属の採用で露光感度の飛躍的向上を達成しており、Inpria社も16nmハーフピッチで20mJ/cm²の感度実証を報告しています¹⁹。これは近年向上したEUV光源出力と相まって量産適用可能な水準です。感度向上によりスループット向上やコスト低減にも寄与します²⁰。
- **高解像度・低ライン幅ラフネス (High Resolution & Low LWR)** : 5nm世代以降の微細パターンでは、レジストによるパターンエッジのブレ（濃度プロファイルの不鮮明さ）や線幅の揺らぎ（LWR）が大きな課題です²¹。MORは分子サイズが小さく（有機高分子に比べて1/5程度³）、さらに化学増幅を使わないことでパターンのブラーニング（にじみ）を抑制できます³。実際に金属クラスターは原子レベルで均質な反応性を示すため、露光部のみが選択的に硬化しエッジのギザつきが抑えられると報告されています²²。これにより、より忠実で滑らかなパターン側壁が形成可能となり、高解像度と低LWRの両立に繋がります⁴²²。業界ではMORが従来のCAR材料より格段に広いプロセスマージンで良好なRLSバランスを示すことが確認されており²³、High-NA世代で要求される厳しいパターン精度にも対応できるとみられています。
- **高アスペクト比パターン形成** : デバイスの微細化・多層化が進む中、レジストパターンには高さ/幅比の大きい構造を立ち上げる能力が求められます。EUVでは露光波長短縮により焦点深度が浅くなるため、レジスト膜厚を薄くする必要がありますが、従来の有機レジストでは膜が薄いとエッチング耐久性不足からパターン倒壊を招いていました²⁴。MORは露光により硬質な金属酸化物ネットワークを形成し、薄膜でも下地エッチングに耐える極めて高い耐プラズマ性を発揮します²⁵。そのため膜厚を従来より薄くでき、結果として細いパターン同士の倒れ込みを防いで垂直に近い高アスペクト比を実現できます²⁶。特に高NA EUVでは必要とされるレジスト薄膜化と高エッチング耐性という相反する条件を、MORなら同時に満たせることとなります⁷²⁷。この特性は今後の3次元NANDのような超高層配線やロジック多層配線技術にも有効であり、プロセス簡素化（中間ハードマスク層の省略等）によるスループット改善も期待されています²⁸²⁹。

以上のように、MORはEUVリソグラフィーで求められる高感度・高解像度（低LWR）・高エッチ耐性という全ての要件に応えるポテンシャルを持っています。これは約30年ぶりのフォトレジスト技術転換とも言われ、従来材料では困難だった微細化の壁を突破しうるものです³⁰。

ADEKAの戦略と量産体制の強化

新プラント建設と供給体制: ADEKAは2025年10月、高NA EUV対応MOR材料の専用生産プラント建設を発表しました³¹。この新プラントは茨城県神栖市の鹿島化学品工場内に建設され、2026年4月着工、2028年4月の量産稼働開始を予定しています³²。投資額は約32億円、延床面積1,050m²で、将来的な増産に備えた余地も確保されています³³³⁴。既にADEKAは鹿島工場の既存ラインでMOR用金属化合物の試験量産と顧客供給を開始しており、今回のプラント新設で本格需要増に対応する供給能力を備える計画です¹⁴³⁵。高NA EUV露光の本格導入が見込まれる2025～2026年以降に向け、安定的な材料供給と量産品質の確立が狙いとなっています。

ADEKAの素材開発の強み: 同社は半導体材料事業において前工程向け素材開発力と品質管理を強みとしています¹³。1998年にはArF用の光酸発生剤（PAG）供給を開始し、以降EUV対応PAGでも世界主要レジストメー

カーに製品提供するなど、高機能フォトレジスト向け素材で実績を積んできました³⁶。また先端メモリ向け高誘電率膜（High-k）用のALD前駆体では長年**世界シェアNo.1**を保持し¹³、今回のMOR材料もその**金属錯体合成技術の延長**で開発しています¹⁴。2023年8月には千葉工場でPAG生産能力を2倍超に増強するなど³⁷、従来主力のCAR材料も含めた総合的なリソグラフィ材料供給体制を強化中です³⁸。MOR用新プラントの稼働により、ADEKAは**CAR+MOR両輪で先端リソグラフィ材料市場をリード**する戦略です³⁹⁴⁰。同社は2026年1月に埼玉県久喜市の開発研究所に新研究棟も完成予定で、ALD材料・CAR・MORを含む開発体制を一段と強化します⁴¹。これらの投資を通じ、「素材でリソグラフィ工程の技術革新をリードし、先端CAR材料で世界トップシェア獲得、次世代リソグラフィを支えるMOR材料を提供する」とのビジョンを掲げています⁴²。

量産体制と品質管理の意義：最先端EUVレジスト材料は**超高純度・高ロット均一性**が要求され、供給途絶が許されない戦略物資です。ADEKAは新組織「半導体材料本部」を設立し（2025年4月）、研究・営業・マーケティングを集約するとともに、日本・韓国・台湾・米国の各拠点を連携して**デバイスメーカー、レジストメーカー、装置メーカーとの対話を強化**しています⁴³。これにより顧客ニーズの迅速なフィードバックを製品開発や生産に反映し、量産適合性や品質要求を満たす体制を築いています。新プラントには将来の増設余地も含め**需要変動への柔軟対応力**を持たせており³⁴、高NA世代でのMOR需要拡大に備えています。また素材メーカーが製造拠点を国内に構えることは、サプライチェーン上の地政学リスク低減にも繋がり、日米欧が注力する先端半導体生産基盤強化にも貢献します。ADEKAの戦略は、自社の強みを生かした**差別化技術で市場シェアを奪取**しつつ（例えば既存CAR材料でのトップシェア維持⁴²）、MOR分野でも主要プレイヤーとなることで事業拡大を図るものです。これはひいては半導体材料分野における日本企業の存在感維持にも寄与すると考えられます。

競合企業との位置づけ・協業と競争の構図

EUVレジストの新潮流であるMORを巡り、材料メーカーと装置メーカーそれぞれが戦略を競っています。ADEKAと主要企業のポジション関係、および協業・競争の構図は以下の通りです。

- ・**JSR（+Inpria社）**：JSRはフォトレジスト業界トップ企業であり、いち早く米Inpria社のMOR技術に着目して**2021年に買収**しました⁴⁴。Inpriaはスズ酸化物を基盤とするMORを開発した先駆者で、Intelなどからも出資を受けるなど業界で注目されていた存在です。JSRは同社の技術を取り込み、自社のEUVレジスト製品ラインにMORを加えて競争力強化を図っています。実際、JSR上席執行役員の木村徹氏は「**金属酸化物レジストは次世代レジストの最有力候補**。2025～2026年には収益に貢献し始める」と述べており⁴⁵、近い将来に量産適用が本格化するとの見通しを示しています。JSRは従来型のCARでもトップシェアを持つため、当面は**CARとMORの双方を展開**しつつ市場ニーズに応じて移行を進める戦略です。材料メーカー同士の関係では、JSR（Inpria）のMOR技術とADEKAのMOR原料供給は**競合関係**にあります。ただし世界的な需要増に応えるには複数サプライヤーの存在が望ましく、場合によってはJSRがADEKA製原料を採用する可能性も否定できません（例えばJSRが得意とするレジスト最終製品化と、ADEKAの素材純化技術の組み合わせなど）。現状は各社が自前技術を磨きつつ、市場を開拓している状況です。
- ・**東京エレクトロン（TEL）** - 装置（コータ・デベロッパ）分野: TELは半導体製造装置大手で、レジスト塗布・現像装置（コータ/デベロッパ）において世界シェアトップ級です⁴⁶。EUV時代においても、**レジスト膜厚の均一性や現像プロセス安定性**が歩留まりに直結するため、ASMLのEUVスキャナとTELのコータ/デベロッパは一体となってプロセス最適化が進められています⁴⁶。TELは特に**MOR対応の湿式処理技術**を強化しており、金属レジストに対応した新たなプロセスモジュールを開発しています⁴⁷。例えば、MOR塗布時に発生しがちな微粒子欠陥を低減する工夫により**塗布起因欠陥を従来比50%以下に削減**しつつコスト増を抑える技術や、現像液を最適化してプロセススループットを維持する工夫などが報じられています⁴⁸。またTELはベルギーimecの**高NA EUV共同ラボ**にも装置を提供し、次世代プロセス開発に深く関与しています⁴⁹。装置メーカー間の構図として、TELは**既存の湿式プロセスを高度化**する路線であり、これは同じ日本勢の材料（JSRやADEKA）の戦略と親和性が高い

と言えます。ADEKAにとってTELは直接の競合ではなく、むしろ協業的な関係で、材料特性を最大限活かす塗布・現像技術の実現に貢献するパートナーと言えます。日本のサプライチェーンはこのように「装置・プロセス・素材の三位一体」で競争力を高めようとしており⁵⁰、TELと材料各社の連携はますます重要になっています。

- **Lam Research** – 装置（ドライレジスト・エッチ）分野: Lam Researchは米国の半導体装置大手で、エッチング装置や堆積装置で高いシェアを持ちます。同社は「**Dry Resist（ドライレジスト）**」と称する新しいEUVパターニング手法を提唱しており、これは上述のALD方式によるレジスト形成・現像技術です¹⁵。Lamは2020年にこのコンセプトを発表し、自社の真空装置技術を活かしてEUVレジスト分野に参入する姿勢を見せました。従来、レジスト分野は装置メーカーの関与が薄かった領域ですが、Lamの参入は**装置と材料の垣根を越えた競争**を生み出しました。実際、LamとInpria/JSRとの間では特許訴訟も起きましたが、2025年9月に**相互クロスライセンスと協業契約**が締結され、係争は和解に至っています⁵¹。この提携により、Lamのドライレジスト装置「Aether®」とJSR/Inpriaの材料技術を統合し、次世代パターニングの実用化を加速する方針が打ち出されました⁵²⁵³。LamにとってJSRは有力な材料パートナーとなり、逆にJSR側もLamの先端装置技術へのアクセスを得るWin-Winの関係です⁵⁴。競合構図としては、Lam（装置）+ JSR（材料）陣営 vs. TEL（装置）+ 他材料メーカー陣営という**新たな連合**が形成されつつあると言えます。もっとも最終顧客である半導体メーカーにとって重要なのは「必要なパターンを適正コストで実現できるか」です。Lamのドライ方式は高性能だが装置投資やスループット面で課題もあるため、当面はTELの湿式方式と競合しつつ**住み分けや併用**になる可能性があります¹⁶。ADEKAは装置メーカーとの直接提携こそ公表していませんが、自社材料を広く採用してもらうため**LamやTEL含む各社との協議・評価を進めているもの**と考えられます⁴³。
- **その他競合プレイヤー:** 質問に挙げられていませんが、東京応化工業（TOK）や住友化学、信越化学、富士フイルムなど日本の他レジスト大手もMOR開発に参入しています⁵⁵⁵⁶。特に東京応化は「2026~27年にはMORの利用が本格化する」と見込んでおり⁴⁵、自社技術による追随を目指しています。また住友化学はMORに対抗し得る**有機系低分子レジスト**の研究を強化しており、市場競争は「無機vs有機の次世代レジスト開発競争」の様相も呈しています⁵⁷⁵⁸。こうした動きは最終的にMOR材料のさらなる改良や新コンセプト材料の登場を促すため、ADEKAも競合各社の動向を注視しつつ、自社優位を築く必要があります。

EUVレジスト市場の技術トレンドとMORの将来展望

高NA時代の本格到来: 2025~2026年にかけてASMLの高NA EUV露光機（NA0.55）の導入が予定されており⁵⁹、半導体微細化は新たな局面を迎えます。これに伴いフォトレジスト材料は約数十年ぶりの**ゲームチェンジ**が求められ、MORの採用拡大が既定路線となりつつあります⁸。業界では「2025~26年にMORが収益貢献を開始し、26~27年に利用が本格化する」との見方が示されており⁴⁵、実際IntelやTSMC、Samsungなど主要半導体メーカーがMORの評価・導入準備を進めていると考えられます。初期段階ではCARとの**ハイブリッド運用**（パターンの種類や層に応じて使い分け）が想定されますが³⁹、EUVの解像度限界がさらに厳しくなる2nm世代以降では**MORが主役**になる可能性が高いです。

MOR普及の可能性と課題: MORの普及ポテンシャルは極めて高いものの、いくつか課題も指摘されています。第一に**金属汚染リスク**です。レジスト中の金属成分（SnやZrなど）がデバイスに悪影響を及ぼす懸念がありますが、現在のところ極微量でありプロセス中にほぼ除去可能とされています。それでも**有機低分子レジスト**のように「金属を含まない材料」の開発も並行して進められており、住友化学は「金属を使わないのでコンタミ懸念が小さく、既存装置をそのまま使える」点を利点に挙げています⁶⁰。第二に**コストとスループット**です。MOR材料自体のコストは高価な金属前駆体を使うためCARより上昇する可能性があります。ただし感度向上で**露光時間を短縮できればトータルコスト低減**につながるため²⁰、性能とのトレードオフで徐々に解決されるでしょう。ドライプロセスMORの場合は新規装置投資や処理速度の課題がありますが、

Lam社は省資源・低エネルギーで環境負荷を下げられる利点（5～10倍の効率改善）も強調しており¹⁷、長期的にはサステナビリティ面から採用が進む可能性もあります。

市場シェアと産業への影響： 現在、半導体用フォトレジスト市場はJSR、東京応化、信越化学、住友化学、富士フイルムの国内5社で9割以上を占めています^{61 56}。EUV時代においても日本勢優位は続く見通しですが、その中で**MOR技術を制するかが**社間シェアを左右するとみられます。JSRはInpria技術で先行し2020年代後半のシェア拡大を狙いますが、東京応化や住友化学も独自技術で追随し競争が激化するでしょう^{62 63}。ADEKAはこれまで裏方（原材料供給）に徹してきたポジションから、自社MOR製品を武器に**新たな市場プレーヤー**となる可能性があります。MOR用金属化合物はフォトレジストの主成分でありながら比較的寡占度が低い分野で、ADEKAが大量供給に成功すればグローバル顧客を獲得しうるでしょう。実際、高誘電率材料やPAGで培った信頼を背景に、海外のデバイスメーカーにも売り込みを図ると予想されます⁴³。装置メーカーの動向にも変化があります。TELとLamというコア装置 vs 新型レジスト装置の競合は、市場構造に影響を与える可能性があります。もしLamのドライプロセスが主流化すれば、レジスト供給モデルも液材販売から**前駆体ガス供給ビジネス**へと変わるかもしれません。この場合、材料産業ではガスケミカル企業（例えば米Entegris社など）が関与強化する可能性があります⁶⁴。一方、現状ではTELのウェット技術が堅調であり、日本の材料・装置企業が協調してEUVレジストソリューションを提供する構図が優位に働いています⁵⁰。

今後の技術トレンド： EUVレジスト市場では**ハイブリッド型**の発展も考えられます。例えば「金属含有ポリマー」や「有機・無機ハイブリッド材料」で両者の利点を兼ね備える研究も進んでいます⁶⁵。また、EUV以外の次世代露光（ナノインプリントやEUV以降のより短波長リソグラフィ）においてもMORのコンセプトは応用可能であり、材料産業全体に新たな研究開発領域を拓きつつあります。産業界・学界では国際会議や学会でMOR関連の発表が増加しており⁶⁶、日本発の技術がグローバルスタンダードになる好機とも言えます。総合的に見て、MORは今後数年で**商業的に確立される公算が大きく、市場シェアも急拡大**すると予想されます。それに伴い、原材料（高純度金属化合物や有機リガンド）、分析・検査技術（例えば金属レジスト特有の欠陥検査手法¹⁶）、廃液処理など周辺分野にも新たな需要と課題が生まれるでしょう。ADEKAをはじめとする素材メーカー各社は、この技術転換期に迅速に対応しイノベーションを牽引することで、半導体材料産業全体の発展に寄与していくことが期待されます⁶⁷。

参考文献： 出典として本文中に示したリンク先【】をご参照ください。各リンクは信頼性の高いニュースリリースや業界報道、技術解説記事からの引用であり、MORに関する最新の知見や業界動向を反映しています。今回取り上げたMOR技術は半導体微細化の鍵を握る重要分野であり、その今後の展開から目が離せません。^{68 52}

1 2 4 5 6 10 11 12 18 20 22 25 26 27 33 34 35 ADEKAのMOR用金属化合物の専用プラント MORとは何か？なぜスズやジルコニウムが使用される理由は何か？ | lush book life
<https://lushbooklife.com/news-of-adekas-dedicated-plant-for-metal-compounds-used-in-mor/>

3 19 23 24 28 29 Inside EUV Resists
<https://semiengineering.com/inside-euv-resists/>

7 16 ブログ - ページ 2 - Semiconductor Advanced Manufacturing Association of Japan
<https://seamaj.jp/blog/page/2/>

8 13 14 31 32 36 37 38 39 40 41 42 43 59 67 68 251031mor.pdf
<https://www.adeka.co.jp/news/pdf/251031mor.pdf>

9 21 30 44 45 55 56 57 58 60 61 62 63 約30年ぶりのフォトレジスト技術転換 | howi14whoruのブログ
<https://ameblo.jp/howi14whoru/entry-12911798056.html>

- 15 Lam Research's Dry Resist: A Breakthrough in EUV Lithography for ...
<https://www.blog.baldengineering.com/2025/01/lam-researchs-dry-resist-breakthrough.html>
- 17 Made by Lam: Lam Tools and Technologies Resource Hub
<https://newsroom.lamresearch.com/made-by-lam-lam-tools-and-technologies?blog=true>
- 46 ASMLと東京エレクトロンは競合なのか？ | 半導体ビジネスラボ - note
https://note.com/modern_eider5829/n/n9361511698d4
- 47 東京エレ、金属レジスト塗布現像 湿式で8ナノ対応
<https://chemicaldaily.com/archives/608256>
- 48 EUV露光に対応する300mmウエハー塗布／現像装置、TEL
<https://eetimes.itmedia.co.jp/ee/articles/2512/17/news030.html>
- 49 TELとIMEC、2nm以降の次世代半導体開発で協業延長 カギは高NA ...
<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20250616-3355408/>
- 50 High NA EUV時代到来！日米のフォトレジスト開発競争を征するの ...
<https://semicon.today/archives/1528>
- 51 52 53 54 Lam Research and JSR Corporation/Inpria Corporation Enter Cross-Licensing, Collaboration Agreement to Advance Semiconductor Manufacturing - Sep 15, 2025
<https://investor.lamresearch.com/2025-09-15-Lam-Research-and-JSR-Corporation-Inpria-Corporation-Enter-Cross-Licensing,-Collaboration-Agreement-to-Advance-Semiconductor-Manufacturing>
- 64 EUV Dry Resist Precursors - Entegris
<https://www.entegris.com/en/home/resources/technical-information/glossary/dry-resist-precursor.html>
- 65 Recent Advances in Metal-Oxide-Based Photoresists for EUV ...
<https://www.mdpi.com/2072-666X/15/9/1122>
- 66 [PDF] Dry Resist Patterning Progress and Readiness Towards High NA ...
<https://euvlitho.com/2023/P42.pdf>