

# オングストローム時代の覇権を握る「金属」の革命: High-NA EUVとADEKAの戦略的マテリアルシフト

Gemini 3 pro

## 第1章 序論: シリコンサイクルの断層と微細化の物理的限界

### 1.1 ムーアの法則の延命と「光」の苦悩

半導体産業は過去半世紀にわたり、ゴードン・ムーアが提唱した「集積回路上のトランジスタ数は約2年で2倍になる」という経験則、すなわちムーアの法則に支配されてきた。しかし、2020年代半ばを迎えた現在、この法則の維持はかつてない物理的・経済的障壁に直面している。回路線幅が数ナノメートル(nm)の領域、いわゆる「シングルナノノード」に突入し、業界はナノメートルの次の単位である「オングストローム(Å)」時代を見据えている。この極限の微細化において、最大のボトルネックとなっているのがリソグラフィ(露光)工程、とりわけ「レジスト材料」の限界である<sup>1</sup>。

極端紫外線(EUV)リソグラフィの導入は、波長193nmのArF液浸露光から、波長13.5nmというX線に近い領域への飛躍的な短波長化をもたらした。これは解像度の向上に劇的な効果をもたらしたが、同時に新たな物理的課題を突きつけた。それが「RLSトレードオフ」である<sup>2</sup>。RLSとは、解像度(Resolution)、ラインエッジラフネス(Line Edge Roughness: パターンの縁の粗さ)、感度(Sensitivity)の頭文字をとったものであり、これら3つの要素は互いにトレードオフの関係にある。解像度を上げようとするれば感度が落ち、感度を上げようとするればラフネス(荒れ)が悪化する。

### 1.2 限界を迎えた有機ポリマーの時代

長年、リソグラフィの主役を務めてきたのは「化学増幅型レジスト(CAR: Chemically Amplified Resist)」である。CARは、光酸発生剤(PAG)が光を受けて酸を生成し、その酸が触媒として樹脂(ポリマー)中を拡散することで化学反応を連鎖的に引き起こす画期的な技術であった<sup>4</sup>。この「酸拡散」こそが、微弱な光でもパターン形成を可能にする高感度の源泉であった。

しかし、EUV時代、特に開口数(NA)が0.55に達する次世代の「High-NA EUV」においては、このCARのメカニズム自体が致命的な欠点となりつつある<sup>5</sup>。

第一に、有機ポリマー(炭素、水素、酸素)はEUV光(13.5nm)に対する吸収率が低い。EUV光は物質に吸収されやすいため、レジスト膜を突き抜けてしまうフォtonsの割合が多く、十分にエネルギーを活用できないのである<sup>2</sup>。

第二に、「酸拡散」による像のボケ(ブラー)である。酸が拡散する距離(拡散長)が、もはや描画しようとする回路パターン(例えば10nm以下)と同程度のスケールになってしまい、意図した通りのシャープな像が得られない。酸が隣の配線領域まで滲み出せば、それは即座にショート(短絡)や断線といった欠陥につながる<sup>6</sup>。

こうした背景の中で、業界は「有機物(ポリマー)」から「無機物(金属)」へのパラダイムシフトを模索

し始めた。それが「金属酸化物レジスト(MOR: Metal Oxide Resist)」の台頭である<sup>7</sup>。

---

## 第2章 ADEKAの戦略的決断:MOR専用プラント建設の全貌と産業的意義

### 2.1 32億円投資の深層

2025年10月31日、株式会社ADEKAは茨城県神栖市の鹿島化学品工場内に、次世代EUVリソグラフィ向けMOR用金属化合物の専用プラントを建設すると発表した<sup>5</sup>。投資額は32億円、着工は2026年4月、営業運転開始は2028年4月を予定している<sup>9</sup>。

一見すると、TSMCやIntelが行う数兆円規模のファブ投資に比べて32億円という金額は小規模に映るかもしれない。しかし、この数字を過小評価してはならない。化学プラントにおいて、特定の高付加価値材料専用の設備として32億円は決して小さな額ではない。むしろ、これはADEKAがMOR市場の爆発的成長を確信し、量産体制を一気に垂直立ち上げするための「勝負手」とであると解釈すべきである。

この新プラントの延床面積は1,050平方メートルであり、将来の需要増に対応するための拡張スペースも確保されている<sup>5</sup>。ここで生産されるのは、MORそのものではなく、MORを構成するための「有機金属化合物(Organometallic Compounds)」である。これは、レジストメーカー(JSRや東京応化工業など)が最終製品を調合するためのキーマテリアル(主要原料)、あるいはLam Researchなどが推進するドライレジストプロセス用のプリカーサ(前駆体)となるものである。

### 2.2 既存技術とのシナジー:ALDからMORへの「必然的」転用

ADEKAがこの分野で強みを発揮できる理由は、同社の「出自」にある。ADEKAは、半導体メモリ(DRAM)のキャパシタ形成などに用いられる「High-k(高誘電率)材料」の世界的なトップランナーである<sup>11</sup>。High-k膜は、ジルコニウム(Zr)やハフニウム(Hf)などの金属原子を含む薄膜であり、これらは原子層堆積(ALD: Atomic Layer Deposition)法を用いて成膜される<sup>12</sup>。

ALDプロセスでは、金属原子に有機配位子(リガンド)を結合させて揮発性を持たせた「ALDプリカーサ」が使用される。実は、MORのコアとなる技術もまた、スズ(Sn)やハフニウム、ジルコニウムといった金属原子を有機配位子で安定化した「金属クラスター」である<sup>2</sup>。つまり、ADEKAが長年DRAM向けに磨き上げてきた「金属錯体合成技術」「高純度化技術」「配位子設計技術」は、そのままMOR用材料の開発・製造に転用可能なのである<sup>5</sup>。

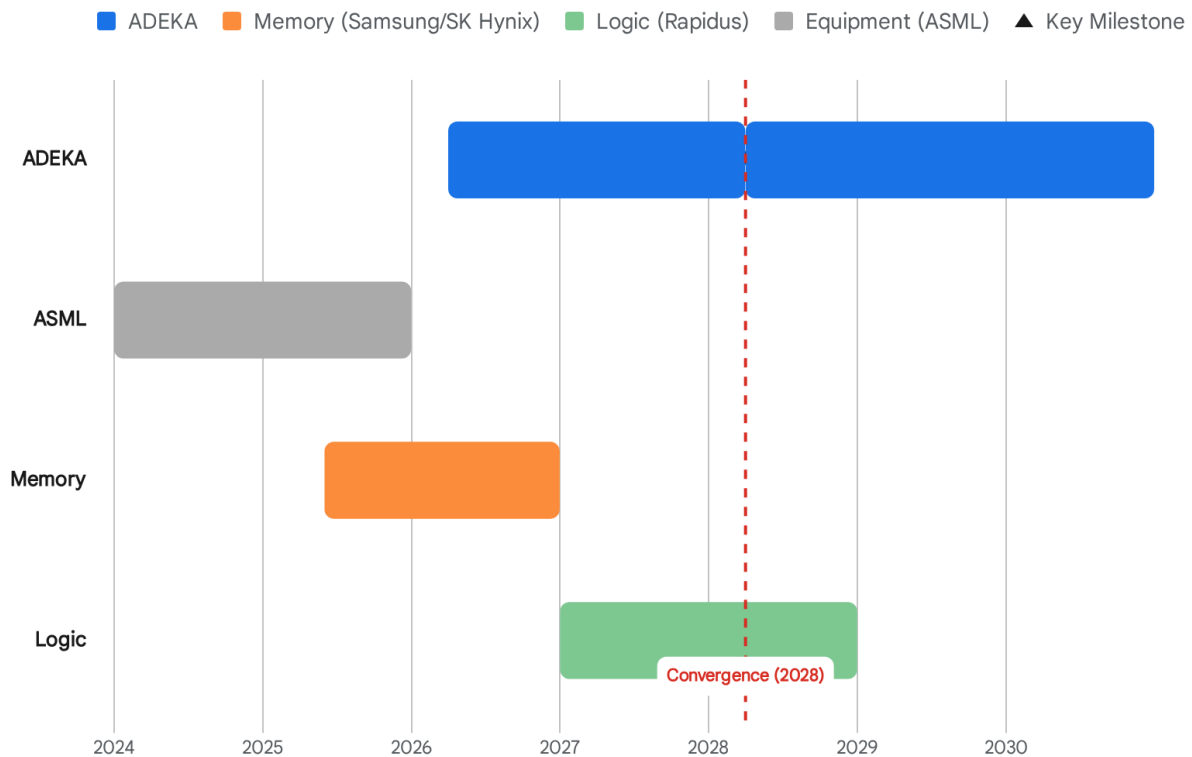
「High-k材料(ALD材料)で培った金属錯体技術を応用」<sup>5</sup>というADEKAの発表は、同社がゼロから新規参入するのではなく、最強のコアコンピタンスを武器に隣接市場へ攻め込む「技術的レバレッジ」戦略をとっていることを示している。半導体の微細化が進むにつれ、リソグラフィ(パターニング)と成膜(デポジション)の境界線が曖昧になり、両者の技術融合が進んでいる現状を象徴しているとも言

える。

## 2.3 タイムラインの戦略的整合性

ADEKAの新プラント稼働時期である「2028年4月」は、半導体ロードマップにおける極めて重要なマイルストーンと同期している。

### ADEKA MOR Plant & Global Semiconductor Roadmap Alignment (2024-2030)



ADEKA's new plant operation (2028) coincides with the mature phase of High-NA EUV and the expansion of MOR adoption in DRAM and Logic sectors.

Data sources: [Note.com](#), [ADEKA News](#), [EEWorld](#), [The Elec](#), [TechPowerUp](#), [Rapidus](#)

上記タイムラインが示すように、2025年から2026年にかけては、Samsung ElectronicsやSK hynixが第6世代10nm級(1c)DRAMの量産を開始する時期に当たる<sup>14</sup>。このフェーズはMORの「初期採用(Early Adoption)」段階であり、ADEKAは既存設備での生産で対応している<sup>5</sup>。そして、Rapidusが2nm世代の量産を目指す2027年を経て、ASMLのHigh-NA EUV露光装置(

EXE:5000/5200)が本格的に普及し始める2028年こそが、MOR需要が爆発的に拡大する「量産普及(HVM)」フェーズである。ADEKAの投資は、この需要の波のピークに照準を合わせた極めて合理的な経営判断であると言える。

## 第3章 技術深層分析:MORはいかにして物理限界を突破するか

### 3.1 EUV光吸収の量子力学的優位性

従来の有機レジスト(CAR)が直面している最大の課題は、EUVフォトンの「無駄遣い」である。EUV光は13.5nmという極短波長であり、そのエネルギーは約92eVと非常に高い。しかし、炭素(C)や水素(H)、酸素(O)といった軽元素は、この波長域における光吸収断面積が小さい。結果として、入射したEUV光の多くはレジスト膜を透過してしまい、感光反応に寄与しない<sup>2</sup>。

これに対し、MORの中核をなすスズ(Sn)、ハフニウム(Hf)、ジルコニウム(Zr)などの金属元素は、EUV領域で巨大な吸収断面積を持つ。特にスズ(Sn)は、有機物に比べて数倍から十数倍の吸収効率を誇る<sup>2</sup>。

- 高感度化: 金属原子が効率的にEUV光子を捕獲するため、少ない露光量(ドーズ量)でも十分な反応を引き起こすことができる。これは、高価なEUV光源のパワーを節約し、スループット(単位時間あたりの処理枚数)を向上させるために不可欠な特性である。
- ショットノイズの低減: 多くの光子を確実に吸収できるため、露光の「確率的なゆらぎ(ショットノイズ)」が平均化され、結果としてパターンのラフネス(LER/LWR)が低減される<sup>6</sup>。

### 3.2 「酸拡散」からの脱却と解像度の極限

CARの解像度を制限していたのは、ポリマー鎖のサイズ(数nm)と、酸触媒の拡散(数nm～十数nm)であった。酸が拡散しなければ反応が進まないが、拡散しすぎれば像がぼやける。この「拡散ブレー」が、シングルナノパターニングの壁となっていた<sup>4</sup>。

一方、MORは一般的に、金属コアを中心とした小さなクラスター分子(サブナノメートル～1nm程度)で構成されている<sup>18</sup>。

- 分子サイズ: 巨大なポリマー鎖ではなく、均一で微小な分子が整列するため、原理的に分子サイズレベル(1nm以下)の解像度を達成できるポテンシャルがある。
- 直接パターニング: MORの多くは、酸触媒による増幅機構を用いない(非化学増幅型)。EUV光を吸収した金属クラスターにおいて、配位子の解離や金属同士の縮合(Condensation)が直接起こり、現像液に対する溶解性が変化する<sup>19</sup>。酸拡散プロセスを経ないため、拡散による像のボケが発生せず、極めてシャープな矩形パターンを形成できる<sup>16</sup>。

### 3.3 エッチング耐性とハードマスク機能

High-NA EUVでは、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

(薄膜化)。例えば、膜厚は20nm以下、あるいは10nm台にまで薄くなる可能性がある<sup>21</sup>。  
従来の有機レジストをこれほど薄くすると、その下にある被加工層をエッチングする際に、レジスト自体が先に削れてなくなってしまい、マスクとしての役割を果たせなくなる。  
しかし、金属酸化物(メタルオキサイド)は本質的にドライエッチングに対する耐性が極めて高い。薄いMOR膜は、それ自体が高性能な「ハードマスク」として機能し、下地層を深く加工する際にも耐え抜くことができる<sup>2</sup>。この「高エッチング耐性」こそが、MORがHigh-NA時代に必須とされる決定的な理由の一つである。

---

## 第4章 プロセス戦争の最前線: ウェット(塗布) vs ドライ(蒸着)

MORの導入にあたり、現在半導体業界では2つの異なるプロセス技術が覇権を争っている。ADEKAの材料供給戦略は、この両陣営の帰趨に深く関わっている。

### 4.1 スピンオン(ウェット)陣営: 既存インフラの継承

現在主流のアプローチは、従来のCARと同様に、溶液状のレジストをウェハ上に回転塗布(スピンコート)する方式である。

- 主要プレイヤー: JSR(傘下のInpria)、東京応化工業(TOK)、富士フイルム、信越化学<sup>23</sup>。
- 技術的特徴: 既存のコータ・デベロッパ装置(東京エレクトロン製など)をそのまま流用できるため、デバイスメーカーにとって導入のハードルが低い。SK hynixの1c DRAMで採用されたInpriaのMORはこのタイプである<sup>14</sup>。
- 課題: スピンコート法では、ウェハ上に滴下されたレジスト液の約90%以上が、回転による遠心力で振り落とされ、廃棄物となる。高価な金属材料を大量に廃棄することはコストおよび環境負荷(サステナビリティ)の観点から大きな課題である<sup>25</sup>。また、現像工程で溶剤を使用するため、微細なパターンが表面張力で倒れてしまう「パターン倒壊(Pattern Collapse)」のリスクが残る。
- 投資動向: TOKは韓国に200億円を投じて新工場を建設し、2030年の稼働を目指している<sup>23</sup>。JSRも韓国でMOR生産拠点の整備を進めており<sup>28</sup>、ウェット陣営の供給網構築は急速に進んでいる。

### 4.2 ドライ(蒸着)陣営: 破壊的イノベーション

これに対抗するのが、Lam Researchが提唱する「ドライレジスト」技術である。

- 主要プレイヤー: Lam Research(製品名: Aether)、協力材料メーカーとしてEntegris、Gelest(三菱ケミカルグループ)<sup>29</sup>。
- 技術的特徴: 真空チャンバー内で、ガス状の原料(プリカーサ)を反応させ、CVD(化学気相成長)やALDに近い手法でレジスト膜を堆積させる。現像もドライ(プラズマや熱処理)で行う「ドライ現像」を組み合わせる<sup>25</sup>。
- メリット:
  - 廃棄物ゼロへの接近: 必要な分だけ成膜するため、材料使用量を5~10分の1に削減できる<sup>26</sup>。
  - パターン倒壊の根絶: 液体を使わない(All-Dryプロセス)ため、表面張力によるパターン倒

壊が物理的に発生しない。これは高アスペクト比の微細パターンにおいて絶大な利点となる<sup>32</sup>。

- 均一性と感度: ALDレベルの膜厚制御が可能であり、均質性が高い。Lam Researchは、ドライレジストによって解像度、感度、ラフネスの全てを改善できると主張している<sup>25</sup>。
- 市場浸透: Lam Researchは、SK hynixの次世代DRAM向けにドライレジスト技術が採用された (Tool of Record) と発表している<sup>26</sup>。これはウェット陣営にとって強力な脅威となる。

### 4.3 ADEKAの「全方位」戦略

ADEKAの発表資料には、MOR用金属化合物が「スピンオン用」か「ドライ用」が明記されていない。しかし、ADEKAのコア技術が「ALDプリカーサ(=揮発性の有機金属化合物)」であることを踏まえると、同社の材料はLam Researchのドライレジストプロセスに極めて適性が高いと考えられる<sup>12</sup>。

同時に、スピンオン用のMORも、合成の初期段階では有機金属化合物を経由する。つまり、ADEKAは「MORエコシステム」の最上流に位置しており、最終的にJSRやTOKがスピンオンレジストとして製品化しようと、Lam Researchがドライレジストとして装置内で成膜しようと、その「原料」を供給できる立場にある。この「プロセス中立(Process Agnostic)」な立ち位置こそが、ADEKAの投資リスクを低減し、市場拡大の恩恵を最大化する鍵となる。



# プロセス比較：スピノン（ウェット）対 ドライレジスト（気相）

特徴 (Feature)	スピノン MOR (ウェット)	ドライレジスト (気相)
成膜方法 Deposition Method	液体コーティング (トラック)	CVD/ALD (真空チャンバー)
材料廃棄 Material Waste	高 (~90% 廃棄) 従来の塗布プロセスでは大部分がスピノフされる	✓ 低 (5-10倍少ない) 必要な量のみを気相堆積するため無駄が少ない
パターン倒壊リスク Pattern Collapse Risk	中 (毛細管力) 現像液の表面張力によりパターンが倒れるリスクがある	✓ なし (ゼロ) 液体を使わないドライ現像により毛細管力を排除
インフラコスト Infrastructure Cost	✓ 低 (既存再利用) 既存のコーター/デベロッパートラックを活用可能	高 (新規投資) 新しい真空チャンバー装置の導入が必要
主要プレイヤー Key Players	JSR (Inpria) TOK Fujifilm	Lam Research
欠陥と歩留まり Defectivity & Yield	確率的欠陥 (Stochastic)	✓ 高忠実度・低欠陥 欠陥ウィンドウを拡大し、歩留まりを向上

スピノンMORは既存のインフラを活用できますが、ドライレジストは極限の微細化において優れた持続可能性とパターンの安定性を提供します。

Data sources: [Lam Research \(Adoption\)](#), [Bald Engineering](#), [StorageNewsletter](#), [SPIE Digital Library](#), [Lam Research \(Investor Day\)](#)

## 第5章 アプリケーション最前線：DRAMからロジックへ広がる採用

ADEKAの材料が実際に使用される「現場」はどこか。当初の戦場はDRAMであり、それに続いて最先端ロジックが控えている。

## 5.1 DRAM市場: 1c世代の攻防

メモリ市場、特にDRAMにおいては、キャパシタの微細化限界と並行して、周辺回路の微細化も限界に達している。Samsung ElectronicsとSK hynixは、第6世代10nm級(1c)DRAMの量産において、業界で初めてMORの本格採用に踏み切る<sup>14</sup>。

- **SK hynixの先行:** SK hynixは、JSR(Inpria)との共同開発を長年進めており、1c DRAMの最も微細なレイヤー(おそらくビット線コンタクトなど)の1層にMORを適用する計画である<sup>15</sup>。同時に、Lam Researchのドライレジスト技術も採用(Tool of Record)したとの報道があり<sup>26</sup>、同社はウェットとドライの両面待ち、あるいは工程ごとの使い分けによって、リスクヘッジと性能最大化を図っていると推測される。
- **Samsungの追随:** SamsungもInpria製MORの評価を進めているが、同社は歴史的に自社エコシステム(TOKなど)を重視する傾向がある。TOKが韓国に大規模投資を行う背景には、Samsungという巨大顧客への供給責任があることは明白である<sup>23</sup>。

ADEKAの新プラントが稼働する2028年には、1c DRAMの量産がピークを迎え、さらなる次世代(1d、0a世代)への移行期にあたる。この時期には、EUVレイヤー数が増加し、それに比例してMORの消費量も急増することが確実視される。

## 5.2 ロジック市場: Rapidusと2nmの野望

ロジック半導体においては、2nmノード(N2)がMOR導入の転換点となる。

- **Rapidus(日本):** 北海道千歳市に建設中のIIM-1工場において、2027年の2nmチップ量産を目指している。Rapidusは、日本国内で初めてASML製のEUV露光装置(NXE:3800E)を導入し、稼働を開始した<sup>1</sup>。彼らはIBMの2nmプロセス技術(GAA: Gate-All-Aroundトランジスタ)をベースにしており、IBMは以前からMORの研究開発に積極的であった。Rapidusが歩留まりを早期に立ち上げ、TSMCやSamsungに対抗するためには、MORによるリソグラフィ性能の向上が不可欠である。
- **TSMC(台湾):** TSMCはN2プロセスにおいて、当初は既存のCAR技術の改良で対応する姿勢を見せていたが、微細化の難易度上昇に伴い、MORの評価を本格化させている。特に、将来的なHigh-NA EUV導入(A14ノード以降)においては、MORへの切り替えは避けて通れない道となるだろう<sup>34</sup>。

---

# 第6章 日本の半導体材料支配: 地政学的優位性と「チョークポイント」

ADEKAの投資は、単なる一企業の事業拡大にとどまらず、世界の半導体サプライチェーンにおける「日本の支配力」を象徴する出来事である。

## 6.1 材料市場の寡占構造

世界のハイエンドフォトリソグリス市場(ArF、EUV向け)において、日本企業のシェアは約90%に達する



- 主要プレイヤー: JSR、東京応化工業(TOK)、信越化学工業、富士フイルム、住友化学。これら5社が事実上の寡占状態にある。ここにADEKAが、MORのキーマテリアルサプライヤーとして強力なプレゼンスを確立することで、次世代技術においても日本の優位性は揺るぎないものとなる。

## 6.2 経済安全保障上のインプリケーション

米中対立や地政学的リスクが高まる中、半導体製造の「チョークポイント(要衝)」を握ることは、国家の戦略的資産となる。先端半導体を製造するためには、ASMLの露光装置(オランダ)と、日本の化学材料が不可欠である。ADEKAの茨城・神栖工場は、世界の最先端チップ製造を支える不可欠な供給拠点の一つとして、経済安全保障上の重要度を増していくことになる<sup>36</sup>。

また、日本政府やRapidusが推進する「日の丸半導体」の復活において、ADEKAのような材料メーカーが国内に強固な基盤を持つことは、サプライチェーンの強靱化(レジリエンス)の観点からも極めて重要である。

---

## 第7章 結論: 2028年、ADEKAは「黒子」から「主役」へ

ADEKAの32億円の投資は、EUVリソグラフィが実験室レベルの「探求」から、産業レベルの「実装」へと移行する歴史的転換点を告げる鐘である。

1. 技術的勝利: 有機化学(CAR)の限界を、無機・錯体化学(MOR)が突破するという技術的必然性が確立された。ADEKAのHigh-k/ALD技術の蓄積は、この新時代において最強の武器となる。
2. 市場の同期: 2028年のプラント稼働は、High-NA EUVの普及、DRAMの1c/1d世代への移行、ロジックの2nm量産という「需要のパーフェクトストーム」に完璧に同期している。
3. 全方位の強み: スピンオン(JSR/TOK)とドライ(Lam Research)というプロセス戦争の行方にかかわらず、その両方に不可欠な「金属源」を供給できるADEKAの立ち位置は、極めて堅牢である。

かつて日本の半導体デバイスメーカー(DRAM)は世界シェアを失ったが、その裏で磨き上げられた材料技術は、今や世界の半導体産業を根底から支えるインフラとなった。ADEKAの新たな挑戦は、半導体の微細化という人類の技術的フロンティアを、化学の力でさらに押し広げるものである。2028年、茨城から出荷される金属化合物が、世界中のデータセンターやAIチップの中で、デジタルの未来を物理的に刻み込むことになるだろう。

### 引用文献

1. What is EUV lithography? How this cutting-edge technology is ..., 12月 31, 2025にアクセス、<https://www.rapidus.inc/en/tech/te0005/>
2. Review of metal-containing resists in electron beam lithography, 12月 31, 2025にアクセス、<https://www.spiedigitallibrary.org/journals/journal-of-micro-nanopatterning-mate>

- [rials-and-metrology/volume-21/issue-4/041402/Review-of-metal-containing-resists-in-electron-beam-lithography/10.1117/1.JMM.21.4.041402.pdf](https://www.researchgate.net/publication/383608829_Recent_Advances_in_Metal-Oxide-Based_Photoresists_for_EUV_Lithography)
3. The High-NA EUV Moat: Is This the End of the Level Playing Field?, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://future-bridge.us/the-high-na-euv-moat-is-this-the-end-of-the-level-playing-field/>
  4. Photoresist Development History-Electronics Headlines-EEWORLD, 12月 31, 2025にアクセス、<https://en.eeworld.com.cn/mp/lcbank/a89145.aspx>
  5. Construction of a New Plant for Organometallic Compounds for ..., 12月 31, 2025にアクセス、<https://www.adeka.co.jp/en/news/2025/10/251031mor-e.html>
  6. Review of metal-containing resists in electron beam lithography - OSTI, 12月 31, 2025にアクセス、<https://www.osti.gov/servlets/purl/1960266>
  7. ADEKA、次世代EUVリソグラフィ対応材料の新プラントを建設, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://kikai-news.net/2025/11/05/adeka%E3%80%81%E6%AC%A1%E4%B8%96%E4%BB%A3euv%E3%83%AA%E3%82%BD%E3%82%B0%E3%83%A9%E3%83%95%E3%82%A3%E5%AF%BE%E5%BF%9C%E6%9D%90%E6%96%99%E3%81%AE%E6%96%B0%E3%83%97%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%88%E3%82%92/>
  8. ADEKA、次世代EUVリソグラフィ対応材料の新プラントを建設 - note, 12月 31, 2025にアクセス、<https://note.com/sankituushin/n/n246e8b3ece95>
  9. 【ADEKA】次世代EUVリソグラフィ向けMOR用金属化合物の新 ..., 12月 31, 2025にアクセス、<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000036.000072203.html>
  10. ADEKA、茨城県神栖市に新プラント建設/32億円投資, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.setsubitoushi-journal.com/article/7425>
  11. ADEKA to Construction a New Plant for Materials used of Cutting ..., 12月 31, 2025にアクセス、<https://www.adeka.co.jp/en/news/en/pdf/220217e.pdf>
  12. ALD Theory - ADEKA, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.adekakorea.co.kr/eng/rd/equipment.php>
  13. SEMICONDUCTOR MATERIALS - ADEKA, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.adeka.co.jp/en/chemical/products/semicon/index.html>
  14. SK Hynix to adopt new Inpria MOR photoresist in 1c DRAM production, 12月 31, 2025にアクセス、<https://en.eeworld.com.cn/news/manufacture/eic669488.html>
  15. SK Hynix to adopt Inpria MOR in 1c DRAM, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.thelec.net/news/articleView.html?idxno=4857>
  16. (PDF) Recent Advances in Metal-Oxide-Based Photoresists for EUV ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
[https://www.researchgate.net/publication/383608829\\_Recent\\_Advances\\_in\\_Metal-Oxide-Based\\_Photoresists\\_for\\_EUV\\_Lithography](https://www.researchgate.net/publication/383608829_Recent_Advances_in_Metal-Oxide-Based_Photoresists_for_EUV_Lithography)
  17. EUV Metal Oxide Resist Development Technology for Improved ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
[https://www.researchgate.net/publication/369209202\\_EUV\\_Metal\\_Oxide\\_Resist\\_Development\\_Technology\\_for\\_Improved\\_Sensitivity\\_Roughness\\_and\\_Pattern\\_Collapse\\_Margin\\_for\\_High\\_Volume\\_Manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/369209202_EUV_Metal_Oxide_Resist_Development_Technology_for_Improved_Sensitivity_Roughness_and_Pattern_Collapse_Margin_for_High_Volume_Manufacturing)
  18. EUV Photoresist Pioneer Inpria Raises \$31 Million in Series C ..., 12月 31, 2025にアクセス、

- <https://www.sttinfo.fi/tiedote/69875394/euv-photoresist-pioneer-inpria-raises-31-million-in-series-c-funding-led-by-jsr-corporation?publisherId=58763726>
19. Advanced EUV Resist Patterning with Metal Oxide Resist (MOR), 12月 31, 2025にアクセス、<https://euvlitho.com/2022/P60.pdf>
  20. EUV patterning using CAR or MOX photoresist at low dose exposure ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
[https://www.researchgate.net/publication/324575806\\_EUV\\_patterning\\_using\\_CAR\\_or\\_MOX\\_photoresist\\_at\\_low\\_dose\\_exposure\\_for\\_sub\\_36nm\\_pitch](https://www.researchgate.net/publication/324575806_EUV_patterning_using_CAR_or_MOX_photoresist_at_low_dose_exposure_for_sub_36nm_pitch)
  21. EUV Lithography patterning: status and challenges towards High NA, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.semi.org/sites/semi.org/files/2022-11/04%20Danilo%20De%20Simon%20imec%20NEW%20NEW%20NEW.pdf>
  22. Recent Advances in Metal-Oxide-Based Photoresists for EUV ..., 12月 31, 2025にアクセス、<https://www.mdpi.com/2072-666X/15/9/1122>
  23. [News] Japan Ramps Up Photoresist Investment for 2nm Chips, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.trendforce.com/news/2025/11/06/news-japan-ramps-up-photoresist-investment-for-2nm-chips-tokyo-ohka-kogyo-jsr-lead-the-charge/>
  24. A big deal for the future miniaturization of chips - Asia Times, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://asiatimes.com/2021/09/a-big-deal-for-the-future-miniaturization-of-chips/>
  25. Lam Research's Dry Resist: A Breakthrough in EUV Lithography for ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.blog.baldengineering.com/2025/01/lam-researchs-dry-resist-breakthrough.html>
  26. Lam Research EUV Dry Photoresist Technology Adopted by ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.storagenewsletter.com/2025/02/04/lam-research-euv-dry-photoresist-technology-adopted-by-leading-memory-manufacturer/>
  27. Japan Ramps Up Photoresist and MOR Capacity for 2 nm EUV ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.techpowerup.com/342676/japan-ramps-up-photoresist-and-mor-capacity-for-2-nm-euv-lithography>
  28. JSR Expands Global Development and Production Functions for ..., 12月 31, 2025にアクセス、[https://www.jsr.co.jp/jsr\\_e/news/2024/20240830.html](https://www.jsr.co.jp/jsr_e/news/2024/20240830.html)
  29. Breakthrough EUV Dry Photoresist Technology from Lam Research ..., 12月 31, 2025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>
  30. Lam Research Reports Record Revenue for Q2 2022 Despite ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://counterpointresearch.com/en/insights/lam-research-reports-record-revenue-q2-2022-despite-supply-chain-constraints>
  31. Lawrence Berkeley National Laboratory - eScholarship, 12月 31, 2025にアクセス、

- <https://escholarship.org/content/qt8qt9b4q0/qt8qt9b4q0.pdf>
32. 2020 Investor Day, 12月 31, 2025にアクセス、  
[https://filecache.investorroom.com/mr5ir\\_lamresearch2/1066/download/Lam%20Research%20-%20Investor%20Day%202020.pdf](https://filecache.investorroom.com/mr5ir_lamresearch2/1066/download/Lam%20Research%20-%20Investor%20Day%202020.pdf)
  33. Rapidus begins installation of Japan's first NXE:3800E EUV ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
[https://www.rapidus.inc/en/news\\_topics/information/rapidus-begins-installation-of-japans-first-euv-lithography-machinery-for-semiconductor-mass-production-en/](https://www.rapidus.inc/en/news_topics/information/rapidus-begins-installation-of-japans-first-euv-lithography-machinery-for-semiconductor-mass-production-en/)
  34. Challenges and innovations in patterning | imec, 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.imec-int.com/en/articles/challenges-and-innovations-patterning>
  35. 5 Operational Highlights - TSMC Investor Relations, 12月 31, 2025にアクセス、  
[https://investor.tsmc.com/static/annualReports/2023/english/pdf/2023\\_tsmc\\_ar\\_e\\_ch5.pdf](https://investor.tsmc.com/static/annualReports/2023/english/pdf/2023_tsmc_ar_e_ch5.pdf)
  36. Japan's Material Maestros: The Hidden Giants Behind the 2nm Chip ..., 12月 31, 2025にアクセス、  
<https://www.dynamicsource.com/single-post/japan-s-material-maestros-the-hidden-giants-behind-the-2nm-chip-race>