

Analysis of "Controlled Materials" in the Semiconductor Industry

Introduction

In the precise world of semiconductor manufacturing, strict control of materials is the cornerstone for ensuring product quality, process safety, and national strategic security. The term "Controlled" materials mentioned in the video not only refers to the extremely high requirements for purity, storage, and handling during production, but also more deeply encompasses export controls in the context of international trade and national security. This report will examine in depth the importance of "Controlled" materials in the semiconductor industry, the reasons behind such control, and the relevant international and domestic regulations.

Importance of Controlled Materials in Semiconductors

Semiconductor fabrication is an extremely complex process with exacting purity requirements. Even trace impurities can cause wafer defects that affect performance and reliability. Therefore, the chemicals and materials used in chip manufacturing must meet ultra-high purity (Ultra-High Purity, UHP) grades. The "electronic grade hydrogen peroxide (Electronic Grade Hydrogen Peroxide)" and "photoresist" mentioned in the video are typical examples 7 7 .

1. Process Criticality

- **Electronic Grade Hydrogen Peroxide (H_2O_2)** 7 :
 - **Wafer cleaning:** In multiple process steps, H_2O_2 is a key component for removing organic contaminants, metal impurities, and particles. For example, in the RCA cleaning method (SC-1 and SC-2), the oxidative action of H_2O_2 effectively breaks down contaminants and helps remove metal ions 7 .
 - **Etching and planarization:** H_2O_2 is also used in certain etching processes and in chemical mechanical planarization (CMP) to achieve precise surface treatment 7 .
 - **Ultra-high purity requirements:** Semiconductor-grade H_2O_2 must have metal impurity concentrations at parts-per-billion (ppb) or even parts-per-trillion (ppt) levels, and particle counts must be strictly controlled to avoid critical wafer defects 7 .
- **Photoresist (Photoresist)** 7 :

- **Core of lithography:** Photoresist is indispensable in the lithography process, used to form fine circuit patterns on the wafer surface. Its quality directly determines the accuracy of chip linewidths 7 .
- **Complex chemical composition:** Photoresists typically consist of polymers, photoactive compounds, and solvents; their chemical properties impose special requirements on process environments and operational safety 7 .

2. Safety and Environmental Considerations

Many chemicals used in semiconductor processes are corrosive, toxic, or flammable—for example, hydrofluoric acid, sulfuric acid, and arsine 7 . The storage, transport, use, and disposal of these materials must follow strict safety regulations to protect personnel and the environment. Marking materials as "Controlled" in ERP systems helps alert operators to their special handling requirements.

Dual Meanings of "Controlled Materials" and Relevant Regulations

The word "controlled" in "Controlled Materials" within the semiconductor industry has a dual meaning: one based on the properties of the materials themselves (purity, hazard), and the other based on national strategic and security considerations (export control).

1. Industry Internal and Safety Regulations

- **Stringent purity standards:** The semiconductor industry has established strict material standards, such as the SEMI international standards, which specify purity grades, impurity levels, and particle counts for various process chemicals 7 . These standards ensure the suitability of materials for manufacturing processes.
- **Occupational safety and environmental protection:** Governments regulate the production, storage, transport, and use of hazardous chemicals. For example, the United States' Toxic Substances Control Act (TSCA) and the European Union's REACH regulation impose requirements relevant to chemicals used in the semiconductor industry 7 . These laws require companies to conduct detailed risk assessments, labeling, and management of hazardous materials.

2. National Strategy and Export Control Regulations

In recent years, as semiconductor technology has become central to national competitiveness, many critical materials and equipment have been subject to export controls to prevent their use for military purposes or their acquisition by potential

adversaries. Such controls frequently target so-called "dual-use goods and technologies" 7

- **Wassenaar Arrangement** 7 :

- This is a multilateral export control regime aimed at promoting transparency and responsibility in the transfer of conventional arms and dual-use goods and technologies.
- Its control lists comprise two main parts: the "List of Dual-Use Goods and Technologies" and the "Munitions List." Many high-tech materials and equipment used in semiconductor manufacturing may be included under the "electronics" or "materials processing" categories of the dual-use list 7.
- Although the Wassenaar Arrangement itself is not legally binding, its member states incorporate its principles into national law.

- **U.S. Export Controls (U.S. Export Controls)** 7 :

- The United States is among the most proactive countries in implementing semiconductor export controls; its regulatory framework is complex and far-reaching.
- **Commerce Control List (CCL):** Many advanced semiconductor materials, equipment, and technologies are listed on the CCL and require export licenses 7.
- **End-User and End-Use Controls:** Even items not explicitly listed on the CCL may be subject to controls if the end user or end use poses national security risks (for example, use in military applications or development of weapons of mass destruction) 7.
- **Entity List:** The U.S. Department of Commerce maintains an Entity List of parties deemed to threaten U.S. national security or foreign policy interests, restricting their access to U.S. technology and products 7.
- **Controls targeting advanced-node technologies:** The U.S. has placed particular emphasis on restricting production equipment and technologies for advanced-node semiconductors—such as logic chips at 16 nm and below, DRAM at 18 nm and below, and NAND flash with 128 layers or more 7.

3. Role of ERP Systems in Controls

The resic AI ERP system shown in the video, through its "Controlled" label and AI query features, is designed to help semiconductor companies effectively manage these complex control requirements. It can ensure:

- **Procurement compliance:** Identify controlled materials at the procurement stage and trigger corresponding approval workflows.

- **Inventory tracking:** Precisely track inventories and the flow of controlled materials.
- **Export review:** Provide data support for export operations to assist in determining whether export licenses are required.
- **Audit traceability:** Provide complete audit logs to satisfy regulatory traceability requirements.

Conclusion

"Controlled materials" in the semiconductor industry is a multifaceted concept. It concerns not only the extreme purity and operational safety of materials, but also global geopolitics, national security, and technological competition. From the exacting quality requirements of electronic-grade chemicals to international export control regimes and national legal restrictions, semiconductor firms must establish comprehensive and precise management systems. The ERP system demonstrated in the video exemplifies how such management needs are translated into digital tools: leveraging AI to help companies remain compliant within a complex regulatory environment while maintaining efficient operations.

References

- [1] Alliance Chemical. (2025, June 26). Powering the Future of Tech: How High-Purity Hydrogen Peroxide Enables AI, 5G & Quantum Computing through Advanced Semiconductor Manufacturing. <https://alliancechemical.com/blogs/articles/guide-hydrogen-peroxide-semiconductor-manufacturing>
 - [2] OECD. Photoresist Use in Semiconductor Manufacturing (EN). https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2014/09/photoresist-use-in-semiconductor-manufacturing_g1g4855c/9789264221161-en.pdf
 - [3] SemiconductorX. Semiconductor Industry Compliance Hub. <https://semiconductorx.com/grc-compliance.html>
 - [4] American Chemistry Council. CRITICAL CHEMISTRIES UNDER TSCA REVIEW. <https://www.americanchemistry.com/content/download/15085/file/TSCA-and-Semiconductors.pdf>
 - [5] Wassenaar Arrangement. List of Dual-Use Goods and Technologies and Munitions List. <https://www.wassenaar.org/app/uploads/2023/12/List-of-Dual-Use-Goods-and-Technologies-Munitions-List-2023-1.pdf>
 - [6] CSIS. (2025, March 14). Understanding U.S. Allies' Current Legal Authority to Implement AI and Semiconductor Export Controls.
-

半導體產業中的「受管制材料」分析

引言

在半導體製造的精密世界中，對材料的嚴格控制是確保產品品質、製程安全以及國家戰略安全的基石。影片中提及的「Controlled (受管制)」材料，不僅指其在生產過程中對純度、儲存和處理的極高要求，更深層次地涵蓋了國際貿易與國家安全層面的出口管制。本報告將深入探討半導體產業中「受管制材料」的重要性、其背後的原因以及相關的國際與國內法規。

半導體受管制材料的重要性

半導體製造是一個極其複雜且對純度要求嚴苛的過程。即使是微量的雜質也可能導致晶片缺陷，進而影響其性能和可靠性。因此，用於晶片製造的化學品和材料必須達到超高純度（Ultra-High Purity, UHP）等級。影片中提到的「電子級過氧化氫 (Electronic Grade Hydrogen Peroxide)」和「光阻劑 (Photoresist)」是典型的例子 7 7。

1. 製程關鍵性

- **電子級過氧化氫 (H_2O_2) 7：**
 - **晶圓清洗：**在多個製程步驟中， H_2O_2 是去除有機污染物、金屬雜質和顆粒的關鍵成分。例如，在 RCA 清洗法（SC-1 和 SC-2）中， H_2O_2 的氧化作用能有效分解污染物，並幫助去除金屬離子 7。
 - **蝕刻與平坦化：** H_2O_2 也用於某些蝕刻製程和化學機械平坦化 (CMP) 中，以實現精確的表面處理 7。
 - **超高純度要求：**半導體級 H_2O_2 的金屬雜質含量需達到十億分之一 (ppb) 甚至兆分之一 (ppt) 等級，顆粒數也需嚴格控制，以避免對晶片造成致命缺陷 7。
- **光阻劑 (Photoresist) 7：**
 - **微影製程核心：**光阻劑是微影（Lithography）製程中不可或缺的材料，用於在晶圓表面形成精細的電路圖案。其品質直接決定了晶片線寬的精確度 7。
 - **化學成分複雜：**光阻劑通常由聚合物、光敏劑和溶劑組成，其化學性質對製程環境和操作安全有特殊要求 7。

2. 安全與環境考量

許多半導體製程中使用的化學品本身具有腐蝕性、毒性或易燃性，例如氫氟酸、硫酸、砷化氫等 7。這些材料的儲存、運輸、使用和廢棄處理都必須遵循嚴格的安全規範，以保護工作人員和環境。ERP 系統中對「Controlled」材料的標註，有助於提醒操作者其特殊處理要求。

受管制材料的雙重意義與相關法規

「受管制材料」的「管制」一詞，在半導體產業中具有雙重意義：一是基於材料本身的特性（純度、危險性），二是基於國家戰略與安全考量（出口管制）。

1. 產業內部與安全法規

- **極端純度標準**：半導體產業內部制定了嚴格的材料標準，如 **SEMI 國際標準**，規範了各種製程化學品的純度等級、雜質含量和顆粒數⁷。這些標準確保了材料在製程中的適用性。
- **職業安全與環境保護**：各國政府對危險化學品的生產、儲存、運輸和使用都有嚴格的法規。例如，美國的《有毒物質控制法》(TSCA) 和歐盟的 REACH 法規，都對半導體產業中使用的化學品有相關規定⁷。這些法規要求企業對危險材料進行詳細的風險評估、標識和管理。

2. 國家戰略與出口管制法規

近年來，隨著半導體技術成為國家競爭力的核心，許多關鍵材料和設備被納入**出口管制**的範疇，以防止其被用於軍事目的或落入潛在對手手中。這類管制通常針對所謂的「**軍商兩用物品 (Dual-Use Goods and Technologies)**」⁷。

- **瓦聖納協定 (Wassenaar Arrangement)**⁷：
 - 這是一個多邊出口管制機制，旨在促進常規武器和軍商兩用物品及技術轉讓的透明度和責任感。
 - 其管制清單包含兩大部分：「軍商兩用物品和技術清單」和「軍品清單」。半導體製造中的許多高科技材料和設備都可能被列入軍商兩用物品清單的「電子」或「材料加工」類別⁷。
 - 雖然瓦聖納協定本身不具法律約束力，但其成員國會將其原則納入各自的國家法律中。
- **美國出口管制 (U.S. Export Controls)**⁷：
 - 美國是實施半導體出口管制最積極的國家之一，其法規體系複雜且影響深遠。
 - **商務管制清單 (Commerce Control List, CCL)**：許多先進半導體材料、設備和技術被列入 CCL，需要出口許可證⁷。
 - **最終用戶與最終用途管制 (End-User and End-Use Controls)**：即使是未被列入 CCL 的物品，如果其最終用戶或最終用途涉及國家安全風險（例如用於軍事或大規模殺傷性武器開發），也可能受到管制⁷。
 - **實體清單 (Entity List)**：美國商務部會將被認為對美國國家安全或外交政策利益構成威脅的實體列入清單，限制其獲取美國技術和產品⁷。
 - **針對先進節點技術**：美國特別針對 16 奈米及以下邏輯晶片、18 奈米及以下 DRAM 記憶體晶片、128 層及以上 NAND 儲存等先進節點半導體的生產設備和技術實施嚴格管制⁷。

3. ERP 系統在管制中的作用

影片中的 resic AI ERP 系統透過其「Controlled」標籤和 AI 查詢功能，正是為了幫助半導體企業有效管理這些複雜的管制要求。它能確保：

- **採購合規：**在採購環節即識別出受管制材料，觸發相應的審批流程。
- **庫存追蹤：**精確追蹤受管制材料的庫存和流向。
- **出口審查：**為出口業務提供數據支持，協助判斷是否需要申請出口許可證。
- **審計追溯：**提供完整的審計日誌，滿足監管機構的追溯要求。

結論

半導體產業中的「受管制材料」是一個多面向的概念，它不僅關乎材料本身的極致純度與操作安全，更與全球地緣政治、國家安全和技術競爭息息相關。從電子級化學品的嚴苛品質要求，到國際出口管制協定和各國法律的限制，半導體企業必須建立一套全面而精密的管理體系。影片中展示的 ERP 系統，正是這種管理需求在數位化工具上的體現，它利用 AI 技術幫助企業在複雜的法規環境中保持合規性，同時確保高效運營。

參考文獻

[7] Alliance Chemical. (2025, June 26). Powering the Future of Tech: How High-Purity Hydrogen Peroxide Enables AI, 5G & Quantum Computing through Advanced Semiconductor Manufacturing.

[7] OECD. Photoresist Use in Semiconductor Manufacturing (EN).

[7] SemiconductorX. Semiconductor Industry Compliance Hub.

[7] American Chemistry Council. CRITICAL CHEMISTRIES UNDER TSCA REVIEW.

[7] Wassenaar Arrangement. List of Dual-Use Goods and Technologies and Munitions List.

[7] CSIS. (2025, March 14). Understanding U.S. Allies' Current Legal Authority to Implement AI and Semiconductor Export Controls.

半導体産業における「受管制（Controlled）材料」の分析

序論

半導体製造の精密な世界において、材料の厳格な管理は製品品質、プロセス安全、並びに国家戦略上の安全保障を確保する基盤である。映像で言及されている「Controlled（受管制）」材料は、製造工程での純度、保管、取り扱いに関する極めて高い要求を指すだけでなく、国際貿易および国家安全保障の観点からの輸出規制も含意している。本報告では、半導体産業における

「受管制材料」の重要性、その背景にある理由、および関連する国際・国内の法規制を詳述する。

半導体の受管制材料の重要性

半導体製造は極めて複雑で、純度に対する要求が非常に厳しい工程である。微量の不純物でもチップの欠陥をもたらし、性能や信頼性に影響を与える可能性がある。したがって、チップ製造に使用される化学薬品や材料は、超高純度（Ultra-High Purity, UHP）等級を満たす必要がある。映像で言及されている「電子級過酸化水素（Electronic Grade Hydrogen Peroxide）」や「フォトレジスト（Photoresist）」は典型的な例である 7 7。

1. プロセス上の重要性

- **電子級過酸化水素 (H_2O_2) 7 :**
 - **ウェーハ洗浄:** 複数のプロセスステップにおいて、 H_2O_2 は有機汚染物、金属不純物、粒子の除去における重要な成分である。例えば、RCA洗浄法（SC-1 および SC-2）では、 H_2O_2 の酸化作用が汚染物を効果的に分解し、金属イオンの除去を助ける 7。
 - **エッチングおよび平坦化:** H_2O_2 は一部のエッチング工程や化学機械的平坦化（CMP）でも用いられ、精密な表面処理を実現する 7。
 - **超高純度の要求:** 半導体グレードの H_2O_2 は、金属不純物濃度が十億分の一（ppb）あるいは兆分の一（ppt）レベルまで要求され、粒子数も厳しく管理され、ウェーハに致命的な欠陥を与えないようにする必要がある 7。
- **フォトレジスト (Photoresist) 7 :**
 - **リソグラフィの中核:** フォトレジストはリソグラフィ（Lithography）プロセスで不可欠な材料であり、ウェーハ表面に精緻な回路パターンを形成するために用いられる。その品質はチップの線幅精度を直接左右する 7。
 - **複雑な化学組成:** フォトレジストは通常、ポリマー、感光剤、溶媒から構成され、その化学的性質はプロセス環境や操作安全性に特別な要求を課す 7。

2. 安全および環境配慮

多くの半導体プロセスで使用される化学物質は、腐食性、毒性、可燃性を有するものがあり、例えばフッ化水素酸、硫酸、アルセントリ化合物などが挙げられる 7。これらの材料の保管、輸送、使用、廃棄処理は厳格な安全規範に従う必要があり、作業者と環境を保護する。ERP システムにおける「Controlled」ラベルは、作業者に対してこれらの特別な取り扱い要件を注意喚起するのに役立つ。

受管制材料の二重の意味と関連法規

「受管制材料」における「管制」は、半導体産業では二重の意味を持つ。一つは材料そのものの性質（純度、危険性）に基づくもの、もう一つは国家戦略および安全保障上の考慮（輸出規制）に基づくものである。

1. 産業内部および安全法規

- **極端な純度基準：**半導体産業内部では、SEMI 国際標準などの厳格な材料規格が制定され、各種プロセス化学品の純度等級、不純物含有量、粒子数などが規定されている 7。これらの基準はプロセスにおける材料の適合性を確保する。
- **労働安全と環境保護：**各国政府は危険化学物質の製造、保管、輸送、使用に関して厳格な規制を設けている。例えば、米国の Toxic Substances Control Act (TSCA) や欧州連合の REACH 規則は、半導体産業で使用される化学物質に関連する規定を含む 7。これらの規制は企業に対して危険物質の詳細なリスク評価、表示、管理を要求する。

2. 国家戦略および輸出規制法規

近年、半導体技術が国家競争力の中心となるにつれて、いくつかの重要材料や装置が輸出規制の対象に含まれるようになり、それらが軍事用途に転用されることや潜在的な敵対国への流出を防止している。こうした規制は、いわゆる「軍民両用物品（Dual-Use Goods and Technologies）」を対象とすることが多い 7。

- **ワッセナー協定 (Wassenaar Arrangement) 7：**
 - これは多国間の輸出管理メカニズムであり、通常兵器および軍民両用物品・技術の移転における透明性と責任を促進することを目的としている。
 - 管制リストは主に「軍民両用物品・技術リスト」と「軍用品リスト」の二部で構成される。半導体製造に関連する多くのハイテク材料や装置は、軍民両用物品リストの「電子」や「材料加工」カテゴリーに該当し得る 7。
 - ワッセナー協定自体は法的拘束力を持たないが、加盟国はその原則を国内法に取り込むことが多い。
- **米国の輸出規制 (U.S. Export Controls) 7：**
 - 米国は半導体の輸出規制を最も積極的に実施している国の一つであり、その法体系は複雑で広範な影響を持つ。
 - **商務管理リスト (Commerce Control List, CCL)：**多くの先端半導体材料、装置、技術が CCL に掲載され、輸出許可が必要となる場合がある 7。
 - **最終ユーザーおよび最終用途の規制 (End-User and End-Use Controls)：**CCL に掲載されていない物品であっても、最終ユーザーや最終用途が国家安全保障上のリスク（例：軍事用途や大量破壊兵器の開発）に関わる場合、規制対象となり得る 7。
 - **エンティティ・リスト (Entity List)：**米国商務省は、米国の国家安全保障または外交政策上の利益に対する脅威と見なされる企業・団体をエンティティ・リストに掲載し、

当該主体が米国の技術や製品を入手することを制限する 7。

- **先端ノード技術への重点規制：**米国は特に、16ナノメートル以下のロジックチップ、18ナノメートル以下の DRAM、128層以上の NAND フラッシュなどの先端ノード半導体の製造装置や技術に対して厳格な規制を課している 7。

3. ERP システムの規制管理における役割

映像で紹介されている resic AI ERP システムは、「Controlled」ラベルと AI による照会機能を通じて、半導体企業がこれらの複雑な規制要件を効果的に管理するのを支援することを目的としている。同システムは次を確保することができる：

- **調達コンプライアンス：**調達段階で受管制材料を識別し、適切な承認プロセスをトリガーする。
- **在庫追跡：**受管制材料の在庫と流れを正確に追跡する。
- **輸出審査支援：**輸出業務に対してデータを提供し、輸出許可申請が必要かどうかの判断を支援する。
- **監査と追跡：**完全な監査ログを提供し、規制当局の追跡要件に対応する。

結論

半導体産業における「受管制材料」は多面的な概念であり、材料そのものの極度の純度や操作上の安全性に関わるのみならず、国際的な地政学、国家安全保障、技術競争とも密接に関連している。電子級化学薬品に求められる厳格な品質要件から、国際的な輸出規制協定や各国の法的制約に至るまで、半導体企業は包括的かつ精緻な管理体制を構築しなければならない。映像で示された ERP システムは、そのような管理ニーズをデジタルツールで実現する一例であり、AI 技術を活用して企業が複雑な法規制環境の中でコンプライアンスを維持しつつ、効率的な運営を行うのを補助するものである。

参考文献

[7] Alliance Chemical. (2025, June 26). Powering the Future of Tech: How High-Purity Hydrogen Peroxide Enables AI, 5G & Quantum Computing through Advanced Semiconductor Manufacturing. <https://alliancechemical.com/blogs/articles/guide-hydrogen-peroxide-semiconductor-manufacturing>

[7] OECD. Photoresist Use in Semiconductor Manufacturing (EN). https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2014/09/photoresist-use-in-semiconductor-manufacturing_g1g4855c/9789264221161-en.pdf

[7] SemiconductorX. Semiconductor Industry Compliance Hub. <https://semiconductorx.com/grc-compliance.html>

[7] American Chemistry Council. CRITICAL CHEMISTRIES UNDER TSCA REVIEW.
<https://www.americanchemistry.com/content/download/15085/file/TSCA-and-Semiconductors.pdf>

[7] Wassenaar Arrangement. List of Dual-Use Goods and Technologies and Munitions List.
<https://www.wassenaar.org/app/uploads/2023/12/List-of-Dual-Use-Goods-and-Technologies-Munitions-List-2023-1.pdf>

[7] CSIS. (2025, March 14). Understanding U.S. Allies' Current Legal Authority to Implement AI and Semiconductor Export Controls.

반도체 산업의 「규제 대상 물질」 분석

서론

반도체 제조의 정밀한 세계에서 재료에 대한 엄격한 관리는 제품 품질, 공정 안전 및 국가 전략적 안전을 보장하는 초석이다. 영상에서 언급된 "Controlled (受管制)" 물질은 단지 제조 공정에서의 순도, 저장 및 취급에 대한 높은 요구만을 의미하는 것이 아니라, 더 깊은 수준에서는 국제 무역 및 국가 안보 차원의 수출 통제를 포함한다. 본 보고서는 반도체 산업에서의 "규제 대상 물질"의 중요성, 그 배경 원인 및 관련 국제·국내 규정을 심층적으로 검토한다.

반도체 규제 대상 물질의 중요성

반도체 제조는 극도로 복잡하며 순도 요구가 매우 엄격한 공정이다. 미량의 불순물이라도 칩 결함을 초래하여 성능과 신뢰성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 칩 제조에 사용되는 화학물질과 재료는 초고순도 (Ultra-High Purity, UHP) 등급을 충족해야 한다. 영상에서 언급된 "전자급 과산화수소 (Electronic Grade Hydrogen Peroxide)"와 "포토리저스트 (Photoresist)"는 전형적인 예이다 7 7.

1. 공정상의 핵심성

- **전자급 과산화수소 (H_2O_2) 7 :**
 - **웨이퍼 세정:** 여러 공정 단계에서 H_2O_2 는 유기 오염물, 금속 불순물 및 입자를 제거하는 핵심 성분이다. 예를 들어 RCA 세정법(SC-1 및 SC-2)에서 H_2O_2 의 산화 작용은 오염물을 효과적으로 분해하고 금속 이온 제거를 돕는다 7.
 - **식각 및 평탄화:** H_2O_2 는 일부 식각 공정 및 화학기계평탄화(CMP) 공정에서도 정밀한 표면 처리를 위해 사용된다 7.
 - **초고순도 요구:** 반도체 등급의 H_2O_2 는 금속 불순물 함량이 십억분의 일(ppb) 또는 심지어 조분의 일(ppt) 수준이어야 하며, 입자 수 또한 엄격히 관리되어 칩에 치명적인 결함을 야기하지 않도록 해야 한다 7.

- **포토레지스트 (Photoresist) 7 :**

- **리소그래피 공정의 핵심:** 포토레지스트는 리소그래피(Lithography) 공정에서 필수적인 재료로, 웨이퍼 표면에 정밀한 회로 패턴을 형성하는 데 사용된다. 그 품질은 칩 선평의 정확도를 직접 결정한다 7 。
- **복합적인 화학 조성:** 포토레지스트는 일반적으로 폴리머, 감광제 및 용매로 구성되며, 그 화학적 특성은 공정 환경과 작업 안전에 대한 특별한 요구를 갖는다 7 。

2. 안전 및 환경 고려사항

많은 반도체 공정에서 사용되는 화학물질은 자체적으로 부식성, 독성 또는 인화성을 지닌다. 예를 들어 불산(氫氟酸), 황산(硫酸), 비소화수소(砷化氫) 등이 있다 7 。

이들 물질의 저장 · 운송 · 사용 및 폐기 처리는 작업자와 환경을 보호하기 위해 엄격한 안전 규정을 따라야 한다. ERP 시스템에서 "Controlled" 물질로 표기하는 것은 조작자에게 해당 물질의 특별한 취급 요구사항을 환기시키는 데 도움이 된다.

규제 대상 물질의 이중적 의미 및 관련 법규

"규제 대상 물질"에서의 '규제'는 반도체 산업에서 이중적 의미를 갖는다. 하나는 **물질 자체의 특성(순도, 위험성)**에 근거한 것이고, 다른 하나는 **국가 전략 및 안보 고려(수출 통제)**에 근거한 것이다.

1. 산업 내부 및 안전 규정

- **극단적인 순도 기준:** 반도체 산업 내부에서는 SEMI 국제 표준 등 엄격한 재료 기준을 제정하여 각종 공정 화학물질의 순도 등급, 불순물 함량 및 입자 수를 규정하고 있다 7 。
 - **산업안전 및 환경보호:** 각국 정부는 위험화학물질의 제조 · 저장 · 운송 · 사용에 대해 엄격한 법규를 운영한다. 예를 들어 미국의 유해물질관리법(TSCA)과 유럽연합의 REACH 규제는 반도체 산업에서 사용되는 화학물질과 관련된 규정을 포함하고 있다 7 。
- 이들 규정은 기업에게 위험물질에 대한 상세한 위험 평가, 표기 및 관리를 요구한다.

2. 국가 전략 및 수출 통제 법규

최근 반도체 기술이 국가 경쟁력의 핵심이 됨에 따라, 다수의 핵심 재료와 장비가 군사적 용도로 전용되거나 잠재적 경쟁자에게 이전되는 것을 방지하기 위해 **수출 통제** 대상에 포함되었다. 이러한 통제는 일반적으로 이른바 "**군사 · 민간 겸용(이중용도) 물자 및 기술 (Dual-Use Goods and Technologies)**"를 겨냥한다 7 。

- **바세나르 협정 (Wassenaar Arrangement) 7 :**

- 이는 재래식 무기 및 군사 · 민간 겸용 물자와 기술의 이전에 대한 투명성과 책임성을 촉진하기 위한 다자간 수출 통제 메커니즘이다。
- 통제 목록은 크게 "군사 · 민간 겸용 물자 및 기술 목록"과 "군사품 목록"의 두 부분으로 구성된다. 반도체 제조에 사용되는 많은 고급 재료와 장비가 바세나르 목록의 '전자' 또는 '재료 가공' 카

테고리에 포함될 수 있다 7。

- 바세나르 협정 자체는 법적 구속력을 갖지 않지만, 회원국들은 그 원칙을 자국 법에 반영한다。

- **미국의 수출 통제 (U.S. Export Controls) 7 :**

- 미국은 반도체 수출 통제를 가장 적극적으로 시행하는 국가 중 하나로서, 그 규제 체계는 복잡하며 광범위한 영향을 미친다。
- **상무관리목록 (Commerce Control List, CCL):** 많은 첨단 반도체 재료, 장비 및 기술이 CCL에 등재되어 있어 수출 허가가 필요하다 7。
- **최종 사용자 및 최종 용도 통제 (End-User and End-Use Controls):** CCL에 등재되지 않은 물품이라 하더라도, 최종 사용자 또는 최종 용도가 국가 안보 위험(예: 군사적 용도나 대량살상무기 개발)에 해당하는 경우 통제를 받을 수 있다 7。
- **엔티티 리스트 (Entity List):** 미국 상무부는 미국의 국가 안보 또는 외교 정책 이익에 위협이 되는 것으로 간주되는 법인이나 단체를 엔티티 리스트에 등재하여 이들이 미국 기술 및 제품을 획득하는 것을 제한한다 7。
- **첨단 공정 기술 대상 규제:** 미국은 특히 16nm 이하 로직 칩, 18nm 이하 DRAM 메모리 칩, 128층 이상 NAND 저장장치 등 첨단 노드 반도체의 생산 장비와 기술에 대해 엄격한 규제를 시행하고 있다 7。

3. ERP 시스템의 규제 관리에서의 역할

영상에 소개된 resic AI ERP 시스템은 "Controlled" 표시와 AI 조회 기능을 통해 반도체 기업이 이러한 복잡한 규제 요건을 효율적으로 관리할 수 있도록 설계되었다. 이 시스템은 다음을 보장할 수 있다:

- **조달의 적법성 확보:** 조달 단계에서 규제 대상 물질을 식별하여 관련 승인 절차를 자동으로 촉발한다。
- **재고 추적:** 규제 대상 물질의 재고 및 흐름을 정밀하게 추적한다。
- **수출 심사 지원:** 수출 업무에 필요한 데이터 지원을 제공하여 수출 허가 필요 여부 판단을 보조한다。
- **감사 및 추적성 확보:** 규제 기관의 추적 요구를 충족시키는 완전한 감사 로그를 제공한다。

결론

반도체 산업에서의 "규제 대상 물질"은 다면적인 개념으로서, 물질 자체의 극단적 순도 및 취급 안전 문제 뿐만 아니라 글로벌 지정학, 국가 안보 및 기술 경쟁과도 밀접하게 연관되어 있다. 전자급 화학물질의 엄격한 품질 요건에서부터 국제 수출 통제 협정 및 각국 법률의 제한에 이르기까지, 반도체 기업은 포괄적이고 정밀한 관리 체계를 구축해야 한다. 영상에서 제시된 ERP 시스템은 이러한 관리 수요의 디지털화된 구현으로서, AI 기술을 활용하여 기업이 복잡한 규제 환경에서 준수성을 유지하고 동시에 효율적인 운영을 보장하도록 돕는다.

참고문헌

[7] Alliance Chemical. (2025, June 26). 파워링 더 퓨처 오브 테크: 고순도 과산화수소가 첨단 반도체 제조를 통해 AI, 5G 및 양자컴퓨팅을 어떻게 가능하게 하는가.

<https://alliancechemical.com/blogs/articles/guide-hydrogen-peroxide-semiconductor-manufacturing>

[7] OECD. 포토레지스트의 반도체 제조에서의 사용 (EN).

https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2014/09/photoresist-use-in-semiconductor-manufacturing_g1g4855c/9789264221161-en.pdf

[7] SemiconductorX. 반도체 산업 컴플라이언스 허브. <https://semiconductorx.com/grc-compliance.html>

[7] American Chemistry Council. TSCA 검토 대상 핵심 화학물질.

<https://www.americanchemistry.com/content/download/15085/file/TSCA-and-Semiconductors.pdf>

[7] Wassenaar Arrangement. 이중용도 물자 및 기술 목록과 군수물자 목록.

<https://www.wassenaar.org/app/uploads/2023/12/List-of-Dual-Use-Goods-and-Technologies-Munitions-List-2023-1.pdf>

[7] CSIS. (2025, March 14). 미국 동맹국들이 AI 및 반도체 수출 통제를 시행할 수 있는 현재의 법적 권한 이해.