

「世界の半導体製造の未来図：PFAS フリー戦略と次世代代替技術の最前線」 目 次

第Ⅰ編 半導体分野における PFAS フリー戦略と代替技術

第1章 欧州

1. 概要
2. 欧州の PFAS 規制の概観
3. 欧州の PFAS 代替戦略
4. 環境規制への対応（REACH 規則）の役割
5. PFAS 規制「猶予」戦略の概要と問題点
6. 欧州における半導体 PFAS 代替プロジェクト
 - 6.1 概要
 - 6.2 GENESIS プロジェクト
 - 6.3 Imec PFAS フリー CAR 開発
 - 6.4 HATE-FLUOR プロジェクト
 - 6.5 SEMI Europe/ESIA PFAS 代替推進

第2章 米国

1. 概要
2. フォトリソグラフィ材料（低分子 PFAS 代替）
3. エッチングプロセス（PFCs 削減技術）
4. 装置構成部品（高分子 PFAS の代替検討）
5. 廃水処理・除去技術（環境排出の削減）
6. 米国における半導体 PFAS 代替プロジェクト
 - 6.1 概要
 - 6.2 SEMI（Semiconductor Equipment and Materials International）
 - 6.3 半導体 PFAS コンソーシアム
 - 6.4 IDE Technologies の PFAS 除去技術
 - 6.5 ECT2 の半導体向け PFAS 除去ソリューション
 - 6.6 IntelPFAS 代替ロードマップ

第3章 中国

1. 概要
2. POPs 条約に基づく特定 PFAS の厳格な規制
3. 中国の PFAS 規制における戦略的な「例外」と「短鎖 PFAS」の扱い
 - 3.1 規制の「例外」措置の詳細と戦略的意図
 - 3.2 短鎖 PFAS の扱いの詳細
4. 半導体製造における PFAS 代替技術開発の動向

第4章 日本

1. 概要
2. PFAS 規制の国際動向と日本の対応
 - 2.1 国際的な規制強化の潮流
 - 2.2 日本の半導体産業における PFAS 代替戦略
 - 2.3 材料分野における技術的優位性の確立

第Ⅱ編 半導体分野における PFAS フリー戦略の失敗と課題

第1章 性能・機能の維持に関する課題（技術的失敗）

1. 概要
2. 半導体製造における PFAS フリー代替材の「耐熱性の不足」とその影響
3. PFAS フリー代替材の「耐薬品性の欠如」とウェットプロセスの破綻
4. PFAS フリー戦略における「表面エネルギーの不一致」とリソグラフィの失敗

5. PFAS フリー代替材の「絶縁性能の低下」とチップ性能の破綻
6. PFAS フリー化による「摩擦・摩耗の増大」とパーティクル汚染
7. PFAS フリー化による「ライフサイクルの短縮」と運用コストの増大
8. PFAS フリー化による「残留汚染の発生」とプロセス再構築の必要性

第2章 プロセス・システムに関する課題（導入失敗）

1. 概要
2. PFAS フリー化による「既存設備との非互換性」とプロセスの非安定化
3. PFAS フリー化による「プロセスの再最適化失敗」と歩留まりの不安定化
4. PFAS フリー化による「廃液処理システムへの負荷」とコスト的失敗
5. PFAS フリーラインにおける「クロスコンタミネーション」と代替失敗
6. PFAS フリー化による「サプライチェーンの多角化失敗」と製造計画の停滞
7. PFAS フリー代替材の「適格性評価の長期化」と生産停止リスク
 - 7.1 PFAS フリー代替品の「高コスト問題」と市場競争力の喪失
 - 7.2 PFAS フリー材料における「スケールアップの失敗」と量産への影響
 - 7.3 知的財産（IP）の障壁
 - 7.4 PFAS フリー代替材料による「リサイクル・廃棄コストの増加」

第3章 規制対応・戦略に関する課題（マネジメント失敗）

1. 概要
2. PFAS 規制における「定義の誤解」と初期投資の無駄
3. LVE への過度な依存による代替品の開発遅延とリスク
4. PFAS フリー代替材による「消費者の信頼喪失」とブランド毀損

第Ⅲ編 半導体製造プロセスにおける PFAS 代替

第1章 フォトレジスト（ArF 浸漬用）代替技術

1. 概要
2. PFAS 代替技術の二大潮流と詳細
3. ネガ型現像プロセスと PFAS フリー化戦略
4. IDM・ファウンドリの PFAS 代替戦略
5. PFAS 代替技術における材料メーカーへの要求と対応
6. 企業動向
 - ① 富士フイルム
 - ② セントラル硝子
 - ③ imec
 - ④ 東京応化工業
 - ⑤ JSR

第2章 フォトレジスト高機能添加剤

1. 概要
2. 主要な添加剤の種類とその機能

3. 次世代リソグラフィ（EUV）における課題と添加剤
4. フォトレジスト高機能添加剤と PFAS の関係
5. フォトレジスト高機能添加剤の PFAS フリー化技術の動向

第3章 ドライブプロセス後処理（アッシング残渣除去）

1. 概要
2. アッシング残渣の種類と組成
3. アッシング残渣の除去技術（ドライブプロセス後処理）
4. アッシング残渣除去と PFAS との関係
5. 5PFAS 代替候補物質・技術
6. 企業動向
 - ① KOKUSAI ELECTRIC
 - ② EMD Electronics
 - ③ 東京エレクトロン
 - ④ SCREEN ホールディングス
 - ⑤ 日立ハイテク
 - ⑥ 東京応化工業
 - ⑦ 富士フイルム
 - ⑧ JSR
 - ⑨ Lam Research
 - ⑩ DuPont
 - ⑪ Merck
 - ⑫ EKC Technology
 - ⑬ ASML

第4章 CMP 工程

1. 概要
2. 業界分析
3. 事業モデルの転換と市場戦略
4. AI/ML によるカスタム CMP レシピ開発

第5章 剥離・洗浄

1. 概要
2. 主要な代替候補
3. 非フッ素系レジスト剥離液
 - 3.1 概要
 - 3.2 剥離作用のメカニズム
 - 3.3 業界分析
4. 超臨界流体剥離技術
 - 4.1 概要
 - 4.2 超臨界 CO₂ (scCO₂) の利用
 - 4.3 非フッ素系共溶媒の添加
 - 4.4 業界分析
5. 代替高分子型界面活性剤
 - 5.1 概要
 - 5.2 PEG 誘導体を選択する要因
 - 5.3 PEG 誘導体技術の詳細
 - 5.4 製造技術
 - 5.5 業界分析
6. 特殊洗浄・乾燥プロセス（高純度溶媒）
 - 6.1 概要
 - 6.2 特殊洗浄プロセスと PFAS
 - 6.3 PFAS 代替候補物質・技術の動向

第6章 洗浄・リンス（界面活性剤）

1. 概要
2. 半導体分野に求められる「PFAS フリー界面活性剤」の要件

3. 企業動向
 - ① DIC
 - ② Syensqo
 - ③ Innospec
 - ④ Evonik / Wilmar
 - ⑤ Croda
 - ⑥ AkzoNobel
 - ⑦ Huntsman
 - ⑧ Actnano
 - ⑨ Transene
 - ⑩ 住友化学
 - ⑪ SCREEN ホールディングス
 - ⑫ KOKUSAI ELECTRIC
 - ⑬ 中興化成工業
 - ⑭ 弘前大学
 - ⑮ 名古屋工業大学

第7章 ポリオキシエチレン（POE）系界面活性剤

1. 概要
2. 半導体分野における POE 系界面活性剤の用途
3. 非 PFASPOE 系界面活性剤が注目される背景と要因
4. 業界分析
5. 企業動向
 - ① 花王
 - ② 三洋化成工業
 - ③ ADEKA
 - ④ 富士フイルム
 - ⑤ Dow
 - ⑥ KLKOLEO
 - ⑦ ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ
 - ⑧ Croda
 - ⑨ Evonik
 - ⑩ 日本触媒

第8章 アルキルポリグルコシド（APG）

1. 概要
2. 半導体分野における APG
3. APG の代替としての可能性
4. 半導体分野における APG 注目の背景と要因
5. APG による PFAS 代替アプローチ
6. 技術的課題
7. サプライチェーンとベンダー対応動向
8. 企業動向
 - ① BASF
 - ② Dow
 - ③ Croda
 - ④ Clariant
 - ⑤ SEPPI
 - ⑥ Solvay
 - ⑦ Ecover
 - ⑧ Galaxy Surfactants
 - ⑨ Transene Company
 - ⑩ Pilot Chemical / Brenntag

第9章 PFAS 依存性低減にむけたプロセス条件最適化

1. 概要
2. プロセス条件最適化による PFAS 使用量の最小化
3. PFAS 依存性低減に向けた技術動向
4. 液浸液管理による PFAS 依存低減

- 4.1 概要
- 4.2 課題
5. レジスト膜厚・塗布条件最適化：界面活性剤依存の削減
 - 5.1 概要
 - 5.2 課題
6. PFAS 依存低減戦略の構造と位置づけ
7. 液浸液管理型とレジスト最適化型の比較と統合戦略
8. コストインパクトと収益トレードオフ
9. 企業動向
 - ① ASML
 - ② Lam Research
 - ③ Samsung Electronics
 - ④ Intel
 - ⑤ TSMC

第IV編 製造装置・インフラにおける PFAS 代替

第1章 装置部品（シール材・パッキン）における PFAS 代替

1. 概要
2. 必須とされる PFAS の特性
3. 半導体製造装置用シール材・パッキンの主要素材
4. 半導体製造におけるシール材・パッキンの代替戦略
5. 国際的な PFAS 規制強化の動向
6. 特定 PFAS フリー FKM への移行
7. 企業動向
 - ① Greene Tweed
 - ② Freudenberg Sealing Technologies (FST)
 - ③ Syensqo
 - ④ Omniseal Solutions
 - ⑤ Precision Polymer Engineering (PPE)

第2章 静電チャックの誘電材料

1. 概要
2. ESC 誘電材料の主流と PFAS 利用の背景
3. PFAS 利用の背景
4. 窒化アルミニウム (AlN) セラミックスの進化と極限追求
5. PFAS フリーポリマーとハイブリッド材料の探索
6. 企業動向
 - ① NTK セラテック
 - ② Entegris
 - ③ Momentive Technologies
 - ④ TOTO

第3章 表面処理（撥水コート）材料

1. 概要
2. PFAS 撥水コート材料の世代別技術分析と規制の変遷
 - 2.1 第1世代：長鎖 PFAS (C8 系) の技術的覇権と構造的欠陥
 - 2.2 第2世代：短鎖 PFAS (C6 系) への移行と技術的妥協
 - 2.3 第2.5世代：C4 系 PFAS (PFBA・PFSBA 等)
 - 2.4 第3世代：PFAS フリー材料（シロキサン系・ポリマー系）
3. シロキサン系コーティング
4. デンドリマー系コーティング
5. ワックス系／アルキル系／炭化水素系撥水コート材料
6. 複合ナノ材料（無機／有機ハイブリッド）
7. 液体状界面（リキッドライク界面）
8. ハイブリッド／極短鎖フッ素混合型
9. 企業動向

- ① Dow Chemical
- ② Wacker Chemie
- ③ 信越化学工業
- ④ 日本化学産業
- ⑤ 日本パーカラライジング
- ⑥ ナガセケムテックス
- ⑦ ミリオン化学
- ⑧ 奥野製薬工業
- ⑨ トクヤマ
- ⑩ 三井化学
- ⑪ 三菱ケミカル

第4章 シリコン系（シロキサン、ポリジメチルシロキサン：PDMS）

1. 概要
2. 課題・成長要因
3. 参入障壁と差別化要素
4. 企業動向
 - ① Imec
 - ② Fraunhofer ISC
 - ③ KAIST/Agency for Defense Development (ADD)
 - ④ Actnano
 - ⑤ 信越化学工業
 - ⑥ Dow
 - ⑦ ADEKA
 - ⑧ 東京応化工業
 - ⑨ 日油

第5章 潤滑剤・作動油（真空ポンプ・精密駆動部）

1. 概要
2. 潤滑剤・作動油の種類と特性
3. 代替候補物質・技術
4. 技術動向

第6章 配管の PFAS フリー

1. 概要
2. 配管の PFAS フリー化：先端産業を支えるクリーン化技術の動向
3. PFAS フリー配管材の主要な技術動向
4. 企業動向
 - ① 栗田工業
 - ② 積水化学工業
 - ③ SilcoTek
 - ④ Saint-Gobain
 - ⑤ Parker Hannifin
 - ⑥ Swagelok
 - ⑦ Ionbond

第7章 クリーンルーム・ユーティリティ（表面処理）

1. 概要
2. 半導体分野におけるクリーンルーム・ユーティリティと PFAS 対策
3. PFAS と半導体表面処理への影響
4. 半導体分野における利用の背景と技術動向
5. 高性能フィルター・分離膜（ユーティリティ・コンタミネーション制御）
 - 5.1 概要
 - 5.2 半導体分野における PFAS 規制とフィルター・分離膜の関係

6. 企業動向

① SilcoTek

第8章 温調（熱媒体・冷媒）

1. 概要
2. 温調技術の技術トレンド
3. PFAS 規制への対応と動向
4. PFAS 規制が温調技術に与える影響と技術革新

第V編 代替候補物質と今後の展望

第1章 代替化学系

1. 概要
2. アルキルポリグルコシド（APG）
3. ポリオキシエチレン（POE）系界面活性剤
4. シロキサン／シリコーン誘導体
5. 非フッ素高分子撥水材料
6. フッ素系短鎖／部分フッ素化合物

7. 新規設計化合物

第2章 工程別のPFAS代替候補物質

1. 概要
2. フォトレジスト（ArF 浸漬用）における界面制御技術の代替
3. 表面処理（撥水コート）におけるフッ素樹脂の代替
4. 洗浄・リンス（界面活性剤）における代替と超高純度化
5. プロセス条件最適化によるPFAS依存の抜本的低減
6. 工程別PFAS代替候補と導入ロードマップ

第3章 短鎖／部分フッ素誘導体

1. 概要
2. 短鎖PFAS
3. 部分フッ素誘導体
4. 技術動向の背景と要因