

平成18年度 特許出願技術動向調査報告書

半導体洗浄技術 (要約版)

<目次>

第1章 半導体洗浄技術の調査概要	1
第2章 特許出願動向	11
第3章 研究開発動向	25
第4章 市場、政策動向	33
第5章 総合分析	42

平成19年4月

特 許 庁

問い合わせ先
特許庁総務部技術調査課 技術動向班
電話：03-3581-1101(内線2155)

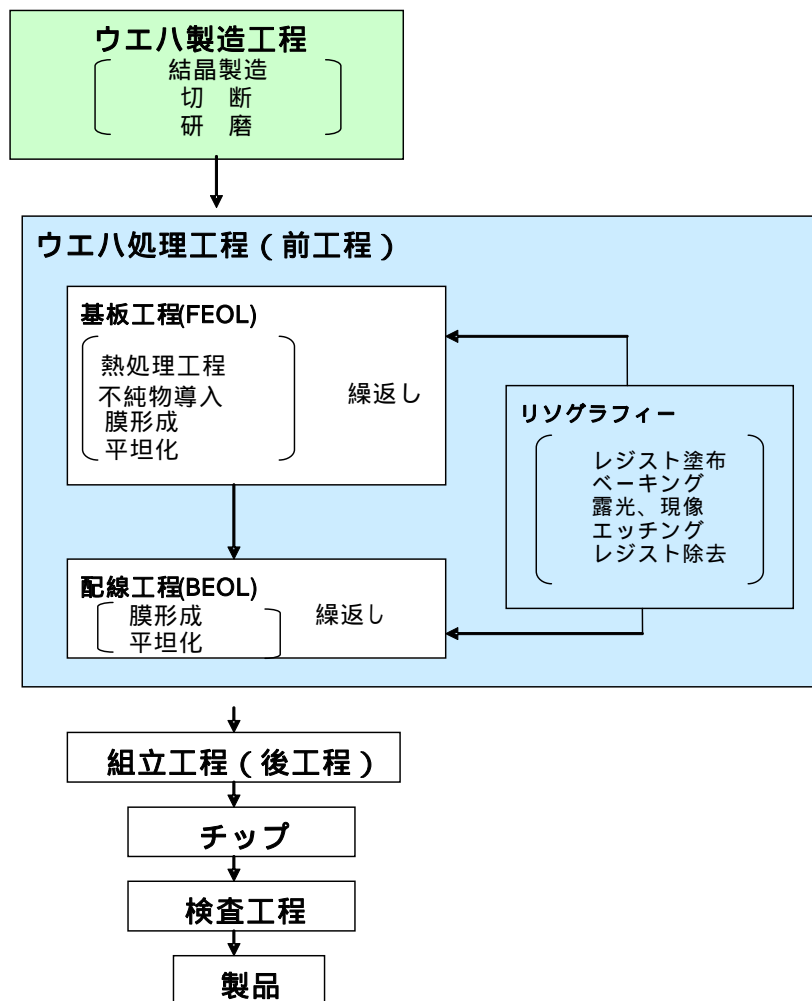
第1章 半導体洗浄技術の調査概要

第1節 半導体洗浄技術の概要

半導体製造の概略を図1-1に示す。ウエハの処理工程は、トランジスタを形成するまでの基板工程（FEOL：Front End Of the Line）とその後の多層配線を形成する配線工程（BEOL：Back End Of Line）に大別される。

半導体は様々な工程を経て製造されるが、それぞれの工程でパーティクル、種々の金属を含む無機物、ポリマー化合物などの有機物の汚染物質が生じる。半導体に汚染物質が残存したり、また付着することで電気的特性の劣化等が生じ、半導体品質に大きな影響を与えという問題がある。従って汚染物除去は半導体製造において必要不可欠であり、半導体の構造が微細になるに従い、洗浄も高度な技術が要求される。半導体製造は“汚染との闘い”とも言われるところである。また、洗浄工程が半導体製造の全工程に占める割合は、25%とも30%とも言われており、洗浄は非常に重要な技術となっている。半導体製造が始まってから、いろいろな洗浄方式、薬液（洗浄剤）が試行錯誤されているが、半導体の微細化や環境問題とのからみもあり、更に洗浄効果の高い洗浄技術の開発が求められている。

図1-1 半導体製造の概略



現在のウェット洗浄は、1970年に米国RCA社のW. KernとD.A. Puotinenが発表¹したいわゆるRCA洗浄が基本となっている。現在にいたるまで改良を加えながら、世界中で半導体製造の洗浄方法として広く用いられてきた。RCA洗浄は、SC1(またはAPM)と呼ばれるアンモニア/過酸化水素/水を用いる洗浄と、SC2(またはHPM)と呼ばれる塩酸/過酸化水素/水を用いる洗浄とを組み合わせる洗浄方法である。SC1は主にパーティクルや有機物汚染の除去に使用され、SC2は主に金属汚染の除去に使用される。使用温度はいずれも80程度の高温となり、ウエハ表面をリンスするために膨大な量の超純水を必要とするなどコスト面からの問題があるが、現状の主流といえる洗浄方式はウェット洗浄と言える。

一方、ドライ洗浄には、プラズマ、レーザー、紫外線、オゾンなどを用いた方法がある。ウェット洗浄では問題となっていた、洗浄液による汚染、ウォーターマークを回避することができる。さらに洗浄液やリンス液の排水処理設備や乾燥工程が不要になるため、洗浄工程を単純化できるというメリットがある。しかし、プラズマ洗浄では、汚染以外の基板を削ってしまうという欠点があり、オゾンは容易に酸素に分解してしまうので操作性が悪いといった面もある。また、プラズマ発生装置や、オゾン発生装置など新たな設備を整える必要もある。

洗浄を取り巻く現状としては、年々進む、半導体デバイスの微細化、高集積化に伴い、より高精度に広い面積を洗浄する要求が高まっている。表1-1に見られるように技術ノードは微細化の一途をたどっている。

また、近年では、例えば、これまでは重大な汚染源として避けられてきた材料が採用される状況にあり、配線金属の材質に起因する配線抵抗(R)と層間絶縁膜の材質に起因する配線間容量(C)によるCR遅延時間の増大の問題を解決するために、従来のAl配線からCu配線へ置き換わったことや、ゲート絶縁膜として長年にわたり採用されてきたSiO₂の薄膜化により顕在化しているトンネルリーク電流の問題解決のために、Hf,Zr,La,Alなどの酸化物およびこれらのアルミケート、シリケート、窒素ドーブ膜を中心とした絶縁材料の適応の研究が進められていることが指摘²されており、これまでは採用されていなかった元素の導入が進むと推測される。

そのため従来使用可能であった洗浄剤によりこれらの材料が含まれている半導体基板が溶けてしまい、Siや絶縁膜などに付着して深刻なクロスコンタミネーションを招くという問題が生じている。

表1-1 半導体技術のロードマップ (ITRS2005年版からデータ参照)

生産開始年	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
DRAM ¹ /Pitch ³ (nm)	70	57	45	36	28	22	18	14
実際のゲート長 ⁴ (nm)	28	23	18	14	11	9	7	6

¹ W.Kerns, D.A.Puotinen, "Clean Solutions Based on Hydrogen Peroxide for Use in Silicon Semiconductor Technology", RCA Review, pp187-206, 1970

² 服部毅, 「半導体プロセスにおける洗浄管理 半導体製造における洗浄技術の最新動向」クリーンテクノロジー, p7-10(2003.9)

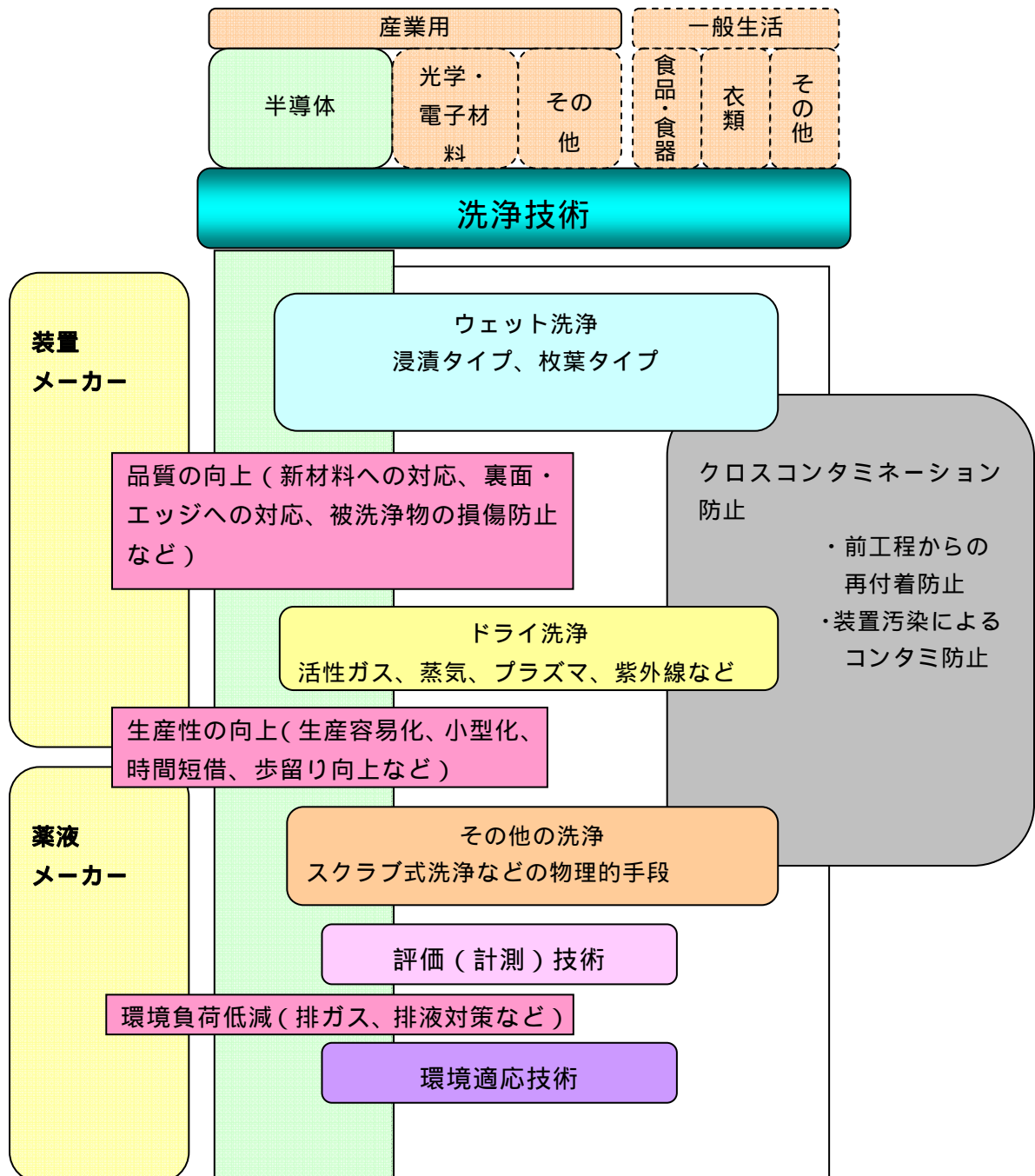
³ DRAMセルの配線ピッチの1/2の長さで表される微細化の指標。2004年以前は技術ノードと言われていた。

⁴ MPU デバイスでの値

第2節 技術俯瞰図

図1-2に半導体洗浄技術の俯瞰図を示す。洗浄技術は産業用、一般生活で多く利用され、産業用に限定しても半導体、光学・電子材料など様々な分野で利用されている。

図1-2 半導体洗浄技術の俯瞰図



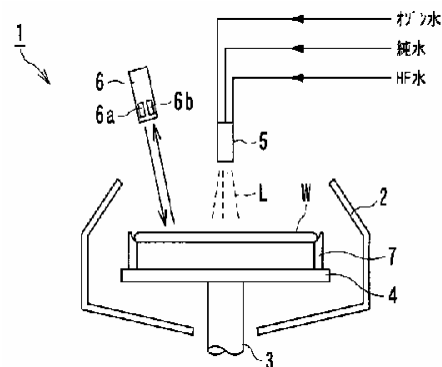
構造などの装置的な対策が必要になる。

ウエハを回転するなど、回転制御、アーム制御など高度な制御が必要になり、またシール部分の腐食、汚染などの問題もあり、高度な装置技術が必要となる。

スループットという面では現状では浸漬式に及ばないが、マルチチャンバーなどの導入、搬送システムの高速度化、スムーズな薬液交換などの対応を図っている。また、従来の薬液を枚葉洗浄に適用すると時間が掛かりすぎるので、新たな薬液や手法を開発する必要がある。すでに、オゾン水と希フッ酸を数秒ずつ交互に基板に吹き付けるSCROD⁷

(Single-Wafer Spin Cleaning with Repetitive Use of Ozonated Water and Diluted HF) やわずかな薬液と窒素ガスや空気と混合して噴霧する手法などが開発されている。

図 1-4 枚葉式の例 (特開 2003-249477)



2. ドライ洗浄

ドライ洗浄技術は、乾式で半導体表面から汚染物質を除去する技術であり、薬液をほとんどあるいはまったく使用しないことから環境面で有利な点がある一方、除去対象となる汚染物質が有機物・無機物のどの種類であるかに対して、ドライ洗浄に用いる手段として活性ガス、蒸気、プラズマ、紫外線らを適切に選択しなければならないという制約がある。

プラズマ洗浄の例 (特開平 05-121386) を図 1-5 に示す。HF ガス、H₂ を反応室 (チャンバー) に吹き込み、放電によりプラズマ化し、活性化されたガスにより汚染物質を除去しようとするものである。

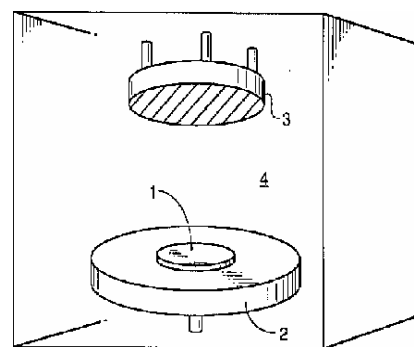
もともとプラズマ化は真空ポンプにより減圧できる装置により行なっていたが、近年では大気圧放電のダウンフロー⁸による方法が開発されている。装置・工程の簡略化を低コストで実現できるため後発企業の中にも開発するところが出てきている。

紫外線 (UV) を使用する洗浄では、汚染物質を紫外線により励起させ、揮発性物質に変化させ基板から飛ばし排気する。UV/O₃洗浄では紫外線とオゾンを併用することにより解離効果をさらにあげている。

蒸気を使用する洗浄では、150 以上の過飽和水蒸気を発生させ、クラスターを微小にすることによりレジストに浸透させ、物理的な打撃やキャビテーションにより汚染物を剥離させる。

フロン規制により、PFCに代わる活性ガスを使用する必要があり、フッ化カルボニル (COF₂) などのガスを使用する方法が開発されている。

図 1-5 プラズマ洗浄の例 (特開平 05-121386)



⁷ T.Hattori ら, J.Electrochem.Soc., p3278(1998.9)

⁸ 小川洋輝 堀池靖浩、「はじめての半導体洗浄技術」工業調査会、p188 (2002)

3. その他の洗浄技術（物理的手段など）

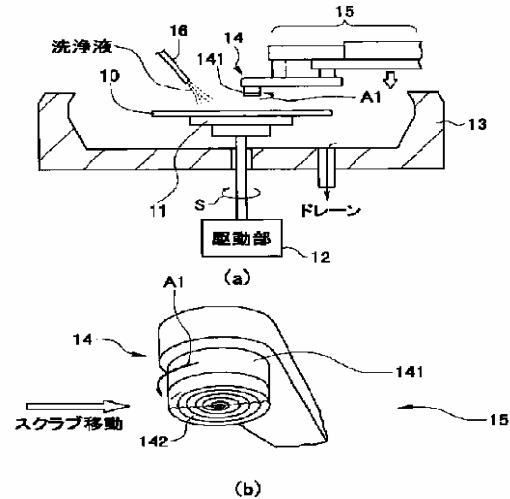
スクラブ洗浄の例（特開 2002-367948）を図 1-6 に示す。

微細化への対応、新材料への対応などから、スクラブ洗浄などによる物理的洗浄が取り入れられている。

物理的洗浄だけでは効果を上げられないので、同時に洗浄液をスプレーするなど化学的洗浄も取り入れて、微細化への対応、新材料への対応を図っている。

極低温エアロゾル洗浄は、ArやN₂などの不活性ガスを極低温でアイス状態にして、汚染物質に物理的衝撃を与えて洗浄するものである。ドライ洗浄技術に入れている研究者もいるが、本調査では、汚染物質と接触する瞬間は固体なので、その他の洗浄技術（物理的手段など）に分類上入れることとする。

図 1-6 スクラブ洗浄の例（特開 2002-367948）



第4節 技術分類

技術分類を要素技術、課題、解決手段の3つの軸に分け、表 1-2～表 1-4 に示した。

表 1-2 要素技術の分類(1/2)

要素技術	要素技術	要素技術
ウェット洗浄技術	液体による洗浄形態	浸漬
		噴射、泡、スプレー
		洗浄の補助
		特定できない洗浄形態
	洗浄液に特徴	洗浄液成分
		液の状態
		液の状態（超臨界流体）
乾燥技術に特徴	液の精製・調整方法に特徴	
	洗浄液成分の使用方法	
ドライ洗浄技術	洗浄媒体の種類	乾燥技術に特徴
		活性ガス
		不活性ガス
		蒸気
		プラズマ
		光（紫外線、レーザー）
		イオン
		複数の組合せ、その他
	洗浄媒体に他物質を混入	主媒体が活性ガス
		主媒体が不活性ガス
		主媒体が蒸気
		主媒体がプラズマ
		主媒体が光（紫外線、レーザー）
主媒体がイオン		
主媒体が複数の組合せ、その他		

表 1-2 要素技術の分類(2/2)

要素技術	要素技術	要素技術
ドライ洗浄技術（続き）	洗浄媒体の生成に関するもの	活性ガス
		不活性ガス
		蒸気
		プラズマ
		光（紫外線、レーザー）
		イオン
	複数の組合せ、その他	
	洗浄媒体の使用に関するもの	活性ガス
		不活性ガス
蒸気		
プラズマ		
光（紫外線、レーザー）		
イオン		
複数の組合せ、その他		
流れ生成	活性ガス	
	不活性ガス	
	蒸気	
	プラズマ	
	光（紫外線、レーザー）	
	イオン	
複数の組合せ、その他		
ウェット洗浄とドライ洗浄の組合せ、その他	ウェット洗浄とドライ洗浄の組合せ、その他	ウェットとドライの組合せ、その他
その他の洗浄技術（物理的手段など）	工具、ブラシ、または類似部材による洗浄	接触方式
		同時にウェット洗浄を行なう
		同時にドライ洗浄を行なう
	同時に吸引を行なう	
ナノピンセット等	ナノピンセット等	
その他の洗浄技術および補助手段	か焼	
	爆発	
	洗浄の補助手段	
評価（計測）技術	洗浄面の評価技術	洗浄面の評価技術
	雰囲気の評価技術	雰囲気の評価技術
	洗浄前の洗浄液の評価技術	洗浄前の洗浄液の評価技術
	洗浄後の洗浄液の評価技術	洗浄後の洗浄液の評価技術
環境適応技術	排液	排液
	排ガス	排ガス
	固形廃棄物	固形廃棄物

表 1-3 課題の分類

課題	課題	課題
品質の向上	洗浄・すすぎ工程での品質向上	洗浄液・媒体の性能向上
		洗浄液・媒体の均一・安定化
		洗浄液・媒体の汚染防止
		効果の均一化
		効果の安定化
		表面改質
		特定異物除去
		微細空隙への浸透性向上
		その他
		乾燥工程での品質向上
	乾燥媒体の性能向上	
	乾燥媒体の汚染防止	
	乾燥媒体の安定化	
	その他	
	再付着防止	液中における再付着防止 飛散ミスト・飛沫による再付着防止
	汚染防止	基板の汚染防止 装置の汚染防止
	酸化膜除去・抑制	ヘイズ(曇り)の低減化 自然酸化膜の除去・抑制
	腐食抑制	基板の腐食抑制 装置の腐食抑制
	ウォーターマーク防止	ウォーターマーク防止
	新材料への対応	Cu 配線、Low-k、High-k その他新材料
裏面・エッジへの対応	裏面・エッジへの対応	
被洗浄物の損傷防止	被洗浄物の損傷防止	
大型基板への対応	大型基板への対応	
生産性の向上	生産容易化	稼働率の向上
		誤操作対策
		メンテナンス(故障、交換、保守点検)容易性向上
	小型化	装置の小型化
		設置スペースの縮小
	時間短縮	リードタイム短縮
		スループットの向上 工程の簡略化
歩留り向上	歩留り向上	
検出・検知・検査精度の向上	検出・検知・検査精度の向上	
コスト低減	処理コスト	設備コスト
		省エネルギー
		ランニングコスト低減
節水・節洗浄液・節洗浄媒体	節水・節洗浄液・節洗浄媒体	
安全性の向上	作業者の安全性	作業者の安全性
	作業環境の安全性	作業環境の安全性
環境負荷低減	排ガス対策	排ガス対策
	排液対策	排液対策
	その他	その他

表1-4 解決手段の分類(1/2)

解決手段	解決手段	解決手段
洗浄液の改良	洗浄液主成分の改良	無機主成分の改良
		有機主成分の改良
	洗浄液の組み合わせ改良	無機系組合せ
		有機系組合せ
		無機・有機の組合せ
	添加剤による改良	界面活性剤
		錯化剤・キレート剤
		腐食抑制剤
		その他添加剤
	洗浄液より除去	洗浄液より除去
	液の状態改良	温度
		濃度
		圧力
		pH 値
表面張力、粘度、接触角		
超臨界状態		
エアロゾル化・固溶体・霧状		
超音波・振動		
液の粒径		
その他		
洗浄媒体の改良	主媒体の改良	活性・不活性ガス
		蒸気
		プラズマ
		光・イオンその他
		砥粒、その他
	媒体組合せ改良	活性・不活性ガスとの組合せ
		蒸気との組合せ
		プラズマとの組合せ
		光・イオンその他との組合せ
		固体微粒子との組合せ
	液体との組合せ	
	媒体の状態改良	温度
		濃度
		圧力
		速度
超音波・振動		
その他		
装置の改良	処理槽・処理装置	形状・構造の改良（処理槽）
		材質（処理槽）
	ノズル	形状・構造の改良（ノズル）
		圧力調整構造
		混合構造
		噴射方向・角度
		材質（ノズル）
	チャック・支持	形状・構造の改良（支持体）
		材質（支持体）
		可動部分の改良（支持体）
	壁・カップ構造	形状・構造の改良（壁）
		材質（壁）
	工具・部品	形状・構造の改良（工具）
		材質（工具）
可動部分の改良（工具）		

表1-4 解決手段の分類(2/2)

解決手段	解決手段	解決手段
装置の改良 (続き)	その他配置の工夫	その他配置の工夫
		配置(処理槽)
		配置(ノズル)
		配置(支持体)
		配置(壁)
		配置(工具)
	運搬・搬送装置の改良	運搬・搬送装置の改良
	周辺装置	密閉構造
		排液処理装置
		排気装置
		センサ取付構造
		フィルタその他
		洗浄液・媒体の供給・貯蔵構造
リサイクル・リユース・循環構造		
制御方法の改良	操作方法の改良	同一工程内での改良
		自動化、システム化
		工程の順序(複数工程間での改良)
		新たな工程の追加(複数工程間での改良)
	処理条件の設定	温度
		濃度
		圧力
		速度
		時間
		複数条件
		洗浄液・媒体の量・流れの制御
		雰囲気の設定
	その他	
	検出・検知	工程動作の監視方法改良
		被洗浄物の監視方法改良
		装置の監視方法改良
		洗浄液・媒体の監視方法改良

第2章 特許出願動向

第1節 全体動向分析

特許出願全体動向分析では、基本的にはWPIファイルを使用して検索しデータを抽出した。技術区分別動向分析ではPATOLISを検索してデータを抽出し、PATOLISに収録されていないデータはWPIファイルを使用して抽出した。2つの抽出データの合計を解析データとした。その他参考にしたデータベースはUS Patents Fulltext ファイル、INPADOCファイル、ESPACENET、USPTOなどである。収集された特許レコード15,737件（特許40,018件）を外国特許の元データとして分析した。

技術区分別の解析をするためのデータを収集する方法は、まず日本に出願されているものについてはPATOLISにより抽出した。日本以外の米国・欧州・韓国・台湾に出願されているものは、WPIファイルに基づきデータを抽出した。

表 2-1 技術分析に使用したデータベースと抽出件数

データベース	全体	ノイズ	解析対象
PATOLIS（日本への出願）	8,081	865	7,216
WPI ファイル（日本以外）	5,492	106	5,386
計	13,573	971	12,602

本調査では調査対象国として、日本、米国、欧州⁹、韓国、台湾（以上5極）を選定した。解析に用いた出願年は、出願日を基本に集計しているが、優先権主張をとともなう出願については優先日で集計をしている。

全体動向分析では、2005年が出願年の特許は、検索を行なった時点で公開されていない特許が存在することから、解析対象範囲は1996～2004年までとしている（技術区分別動向分析については、1996～2005年までで解析を行なっている）。また、2004年が出願年の特許についても必ずしも全て公開されているとは限らないため、出願件数推移を見ていく上で注意が必要である。ただし、資料編に収録するグラフの数値については、2005年まで記載している。

また、各国における審査請求制度、審査処理に要する期間、審査基準は異なっているため、登録件数推移を見ていく上ではこれらの点に注意が必要である。なお、登録件数は登録された年ではなく、出願年で集計しているので直近年のデータが右下がりになるのは、登録されるまでのタイムラグが影響している。

米国では、特許法改正により2000年11月29日から早期出願公開制度が適用されている。このため、制度施行前（2000年以前）における米国の出願件数は登録件数を表している。

台湾でも、特許法改正により2002年10月26日以降の出願については公開制度が適用されているため、米国と同様に制度施行前における台湾での出願件数は登録件数を表している。

なお、本報告書中の「出願人国籍別」とは、「最先の優先権主張国を出願人国籍」としており、また、使用したデータベース（WPI）の問題で、2003年及び2004年の台湾特許件数の集計では未審査の特許件数が含まれているので、登録件数の経年変化のグラフにおいては注意が必要である。

⁹欧州の定義：オーストリア、ベルギー、ブルガリア、スイス、キプロス、チェコ、ドイツ、デンマーク、エストニア、スペイン、フィンランド、フランス、イギリス、ギリシャ、ハンガリー、アイルランド、アイスランド、イタリア、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルク、ラトビア、モナコ、オランダ、ポーランド、ポルトガル、ルーマニア、スウェーデン、スロベニア、スロバキア、トルコ

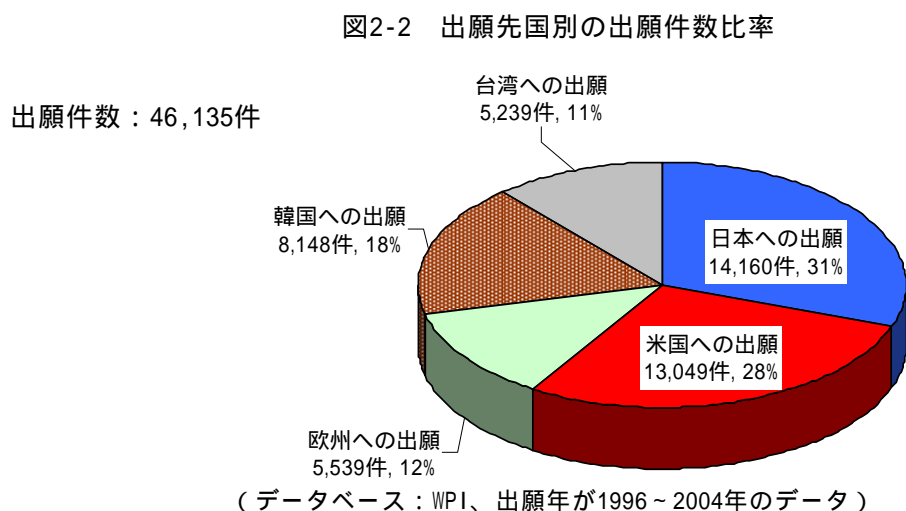
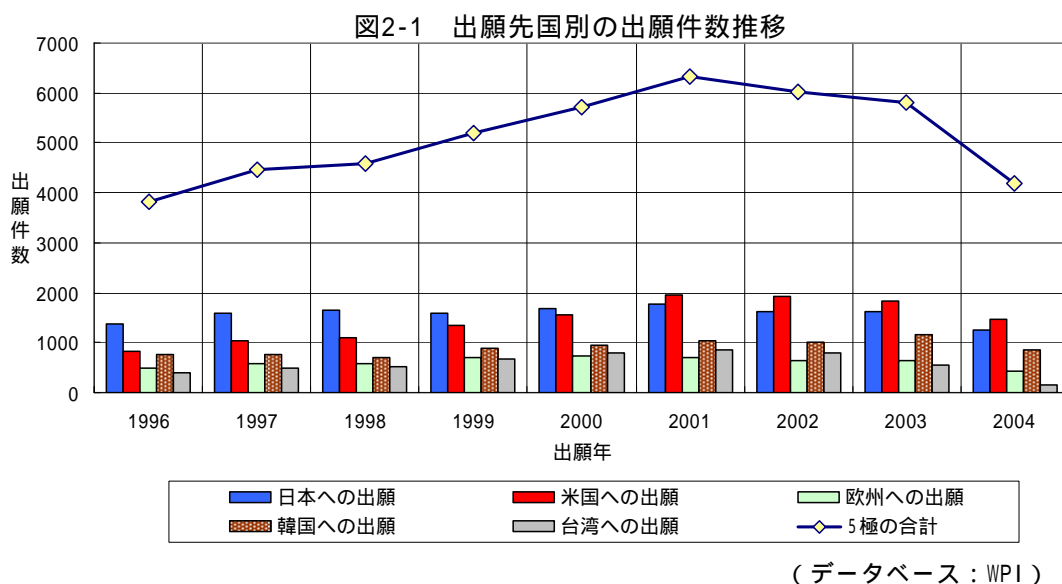
1. 出願先国（日本、米国、欧州、韓国、台湾）別の特許出願件数動向

図2-1に日本、米国、欧州、韓国、台湾への出願先国別の出願件数推移を、図2-2に出願件数比率を示す。5極の合計推移では、1996～2001年にかけて増加傾向にある。2001年にピークがあり、約6,300件の出願が見られる。それ以降は減少している。

図2-2の出願件数比率で見ると、1996年から2004年の累計において日本への出願が14,160件（31%）と最も多く、次いで僅差で米国への出願が13,049件（28%）と続いている。

但し、図2-1に示されるように2000年以降は、我が国企業やアジア諸国の有力企業による米国での出願傾向が顕著に見られることから、出願先国別の出願比率については、将来的には日米の逆転の可能性がある。

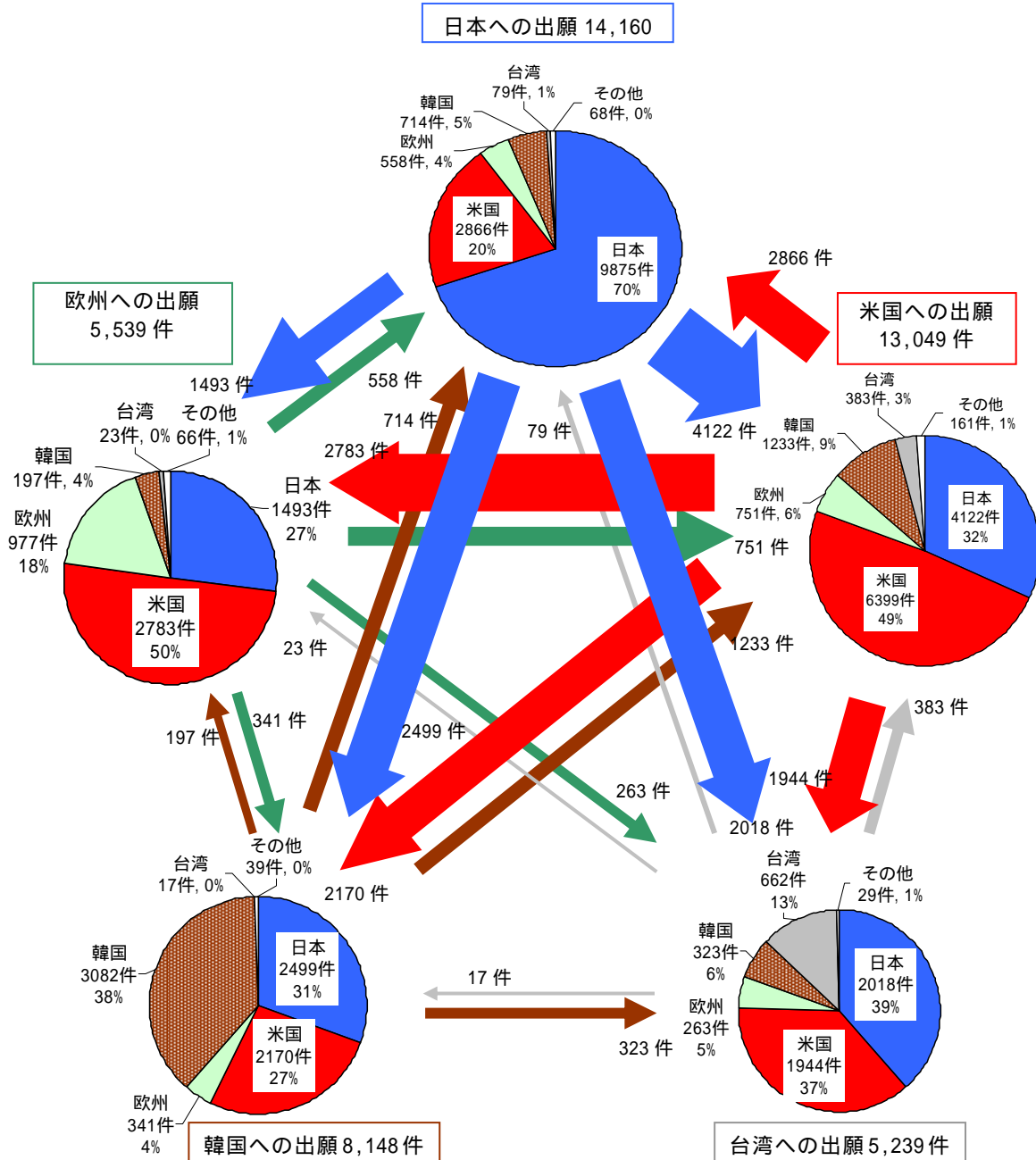
日米に次いで、韓国が8,148件（18%）、欧州が5,539件（12%）、台湾が5,239件（11%）と続いている。



2. 出願件数収支：地域間の出願関係

日本を出願人国籍としたものは、自国への出願に加えて、米国、欧州、韓国、台湾への外国出願を積極的に行っていることが分かる。また、米国を出願人国籍としたものも、自国への出願に加えて、日本、欧州、韓国、台湾への外国出願を積極的に行っていることがわかる。

図2-3 出願先国別 - 出願人国籍別出願件数収支



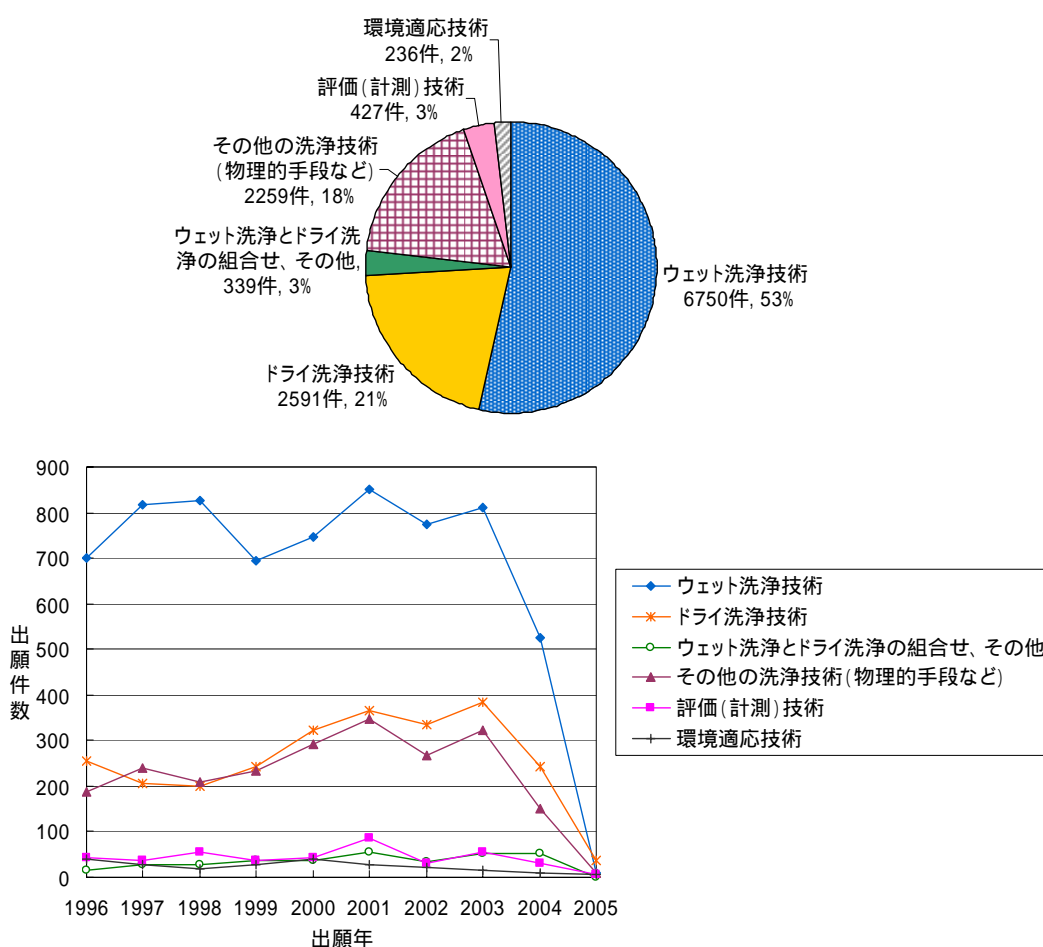
(データベース：WPI、出願年が1996～2004年のデータ)

第2節 技術区分別動向分析

1. 要素技術別出願・登録件数動向

要素技術別の出願件数の比率と推移を図2-4に示す。要素技術別の比率をみると、「ウェット洗浄技術」に関するものが圧倒的に多く、「ドライ洗浄技術」「その他の洗浄技術」と続く。全体的な推移を見ると、2001年にピークが見られる。この理由は、300mm大型基板への対応、Low-k・High-kゲート新材料への対応など、各機関とも開発に力を入れた結果と考えられる。2004年、2005年については極端に減少しているが、この2年分については全ての公報が公開されていないので、実際に件数が減少したとは判断できない。

図2-4 要素技術別出願件数の比率と推移（全世界）

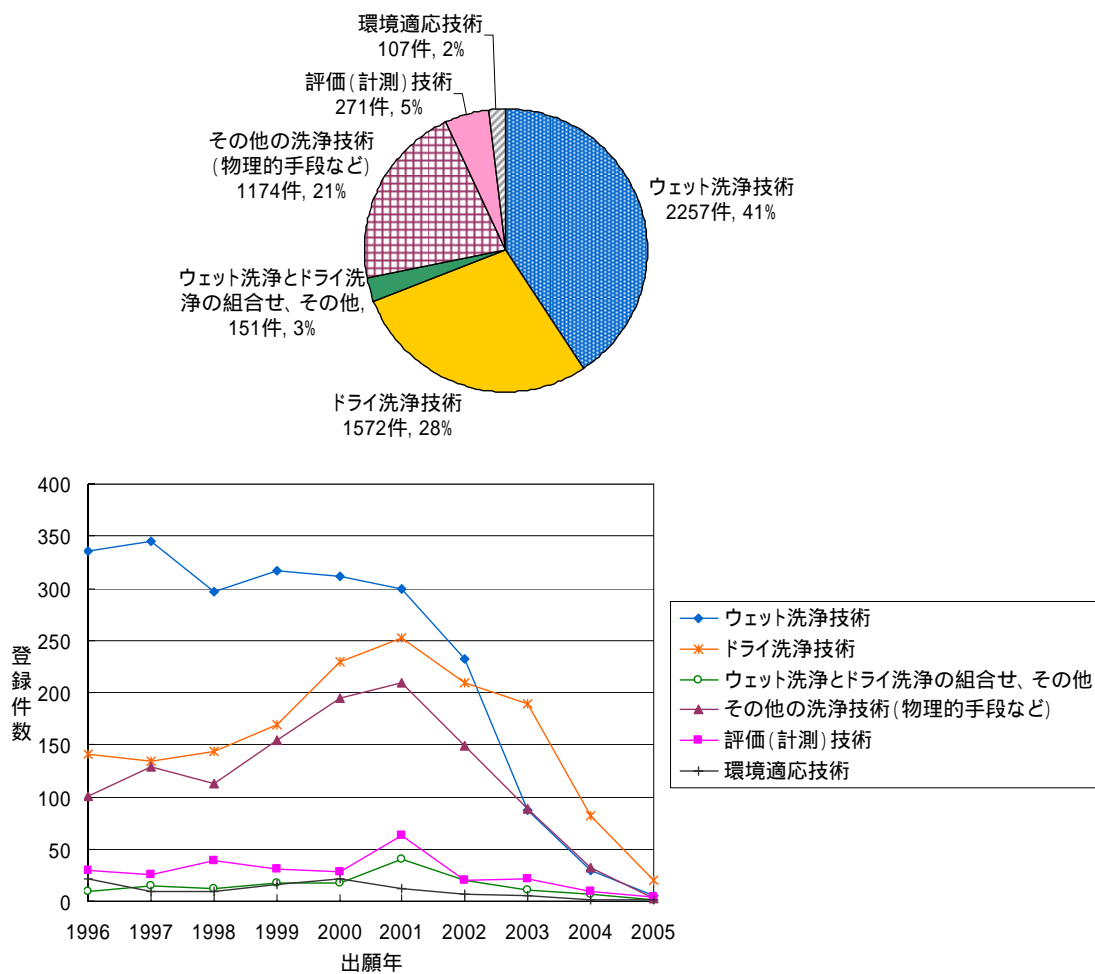


要素技術別にみると、ウェット洗浄技術については、1996年以降の出願は1996年を除くと平均している。ドライ洗浄技術は、1999年以降増大する傾向にある。微細化にともない、パターン倒れなど被洗浄物の損傷が大きな課題になってきており、ドライ洗浄が再び見直されてきていることの現われとみられる。その他の洗浄技術（物理的手段など）も1999年から増大する傾向にある。スクラブ洗浄などの物理的手段に洗浄液の化学的手段を併用して、やはり被洗浄物損傷の課題に対応する技術が開発されているとみられる。

要素技術別登録件数の比率と推移を図2-5に示す。要素技術別の比率をみると、「ウェット

洗浄技術」「ドライ洗浄技術」「その他の洗浄技術」の順番になっている。要素技術別にみると、ウェット洗浄技術は減少傾向にあるが、ドライ洗浄技術およびその他の洗浄技術は登録が増加する傾向にある。2003年、2004年、2005年は極端に減少しているが、半導体洗浄技術はPCT出願されているものが多く、公表までのタイムラグの影響と見られる。ちなみに、日本特許の場合出願から公表までは4～5年、その後登録になるとそれ以上の年数が掛かる。

図2-5 要素技術別登録件数の比率と推移（全世界）



2. 要素技術別の出願人国籍に対する出願・登録件数の比率

図 2-6 に要素技術別の出願人国籍に対する出願件数の比率を示す。

ウェット洗浄技術をみると、圧倒的に日本国籍の出願が多い。米国国籍よりも韓国国籍が多くなっている。

ドライ洗浄をみると、日本国籍と米国国籍がほぼ同じ比率になっていて、次に韓国国籍と続く。

その他の洗浄技術（物理的手段など）をみると、日本国籍がやや飛びぬけていて、次に米国国籍と韓国国籍が同じ比率で続く。

評価（計測）技術をみると、米国国籍が1番となっていて、この分野における米国の優位性が特許出願からも判断できる。

環境適応技術は日本国籍が半数近くを占め、次に韓国国籍が続く。

図2-6 要素技術別の出願人国籍に対する出願件数の比率

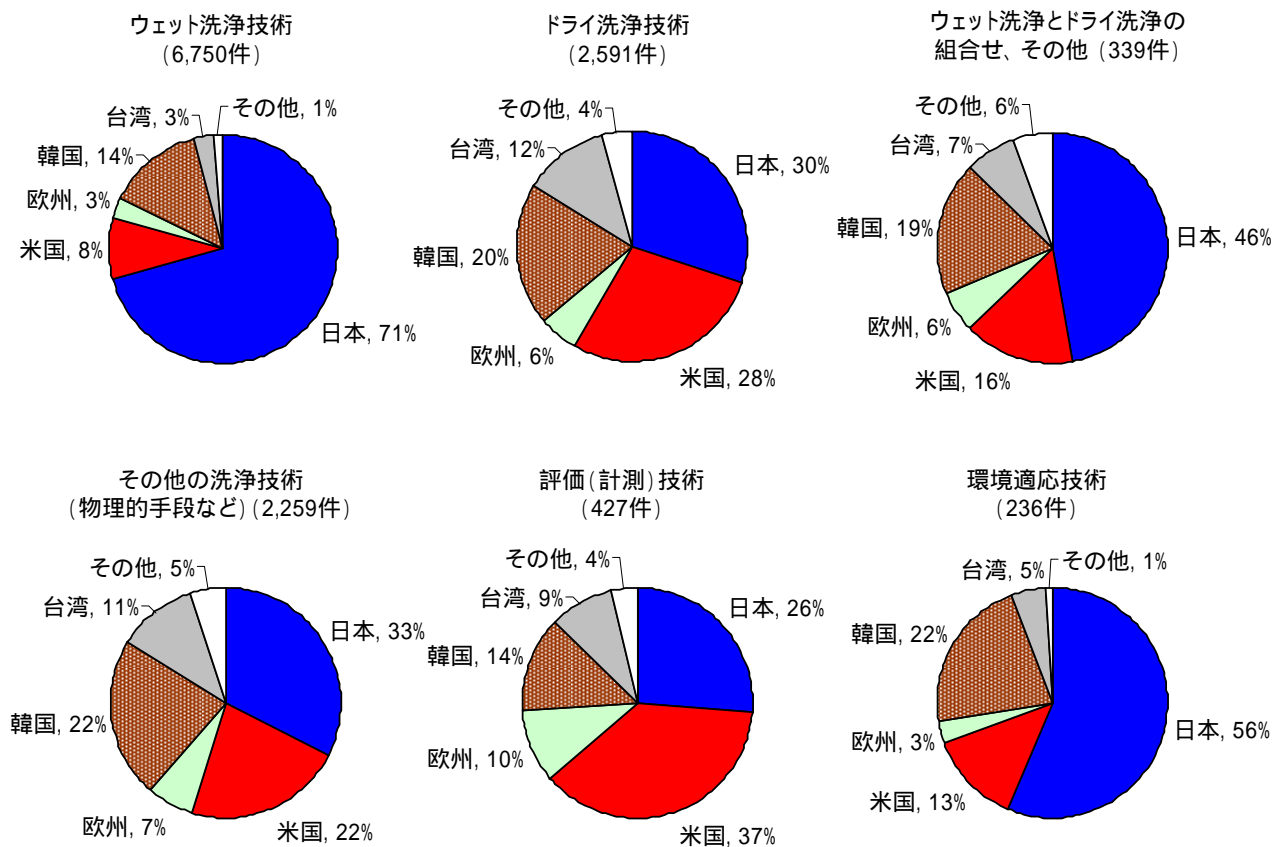


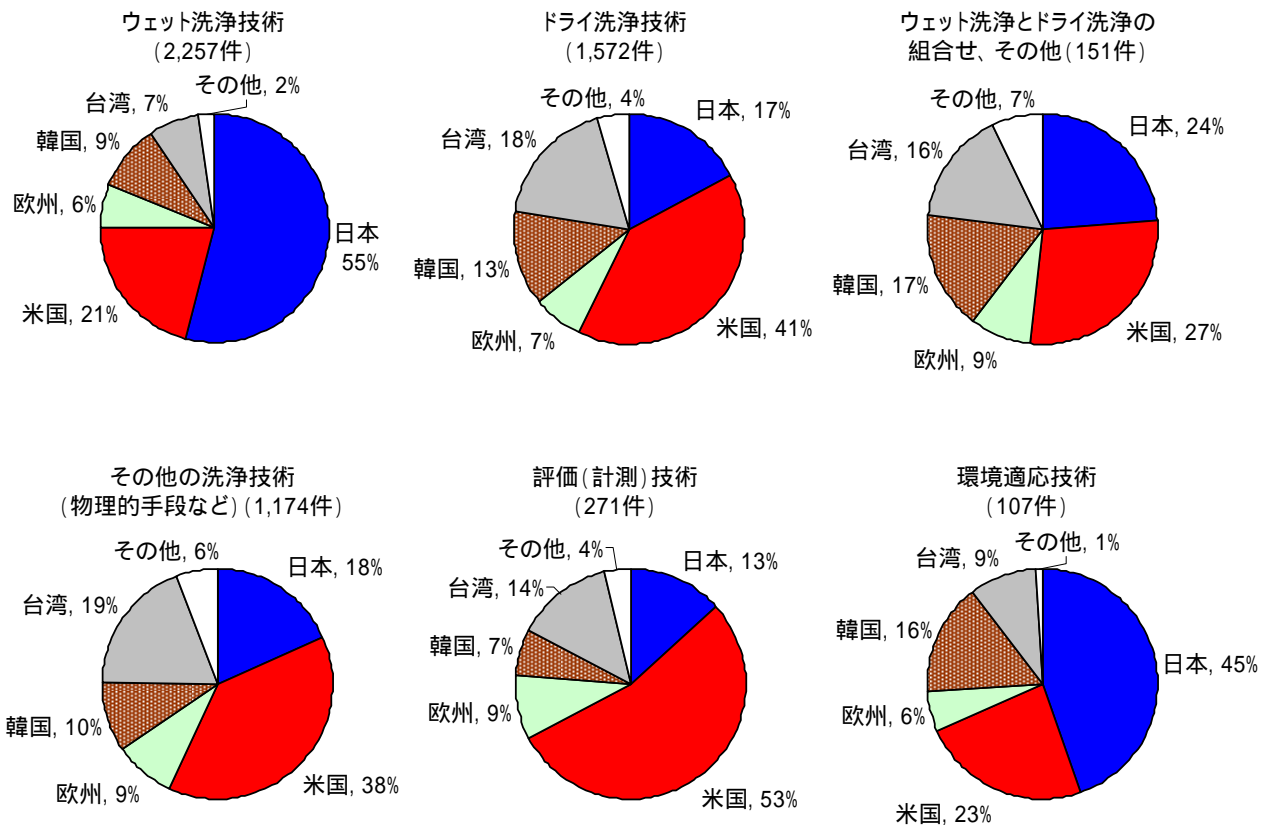
図 2-7 に要素技術別の出願人国籍に対する登録件数の比率を示す。

ウェット洗浄技術をみると日本国籍の登録件数が多いが、ドライ洗浄技術をみると米国籍の登録件数が多い。

その他の洗浄技術（物理的手段など）と評価（計測技術）をみても、米国籍の登録が多い。

環境適応技術をみると、日本国籍の登録が一番多く次に米国籍の登録が多い。韓国国籍も環境適応技術についての登録が他の要素技術に比べ多いのが注目される。

図2-7 要素技術別の出願人国籍に対する登録件数の比率



3 . 要素技術、課題、解決手段の解析

解析対象はPATOLISにより検索抽出し、ノイズを除去した7,216件、WPIファイルにより検索抽出しノイズを除去した5,386件であり、総数では、12,602件になる。

12,602件の公報を読み込み、3軸（要素技術、課題、解決手段）の分類を付与し解析を行った。

3-1 要素技術と課題

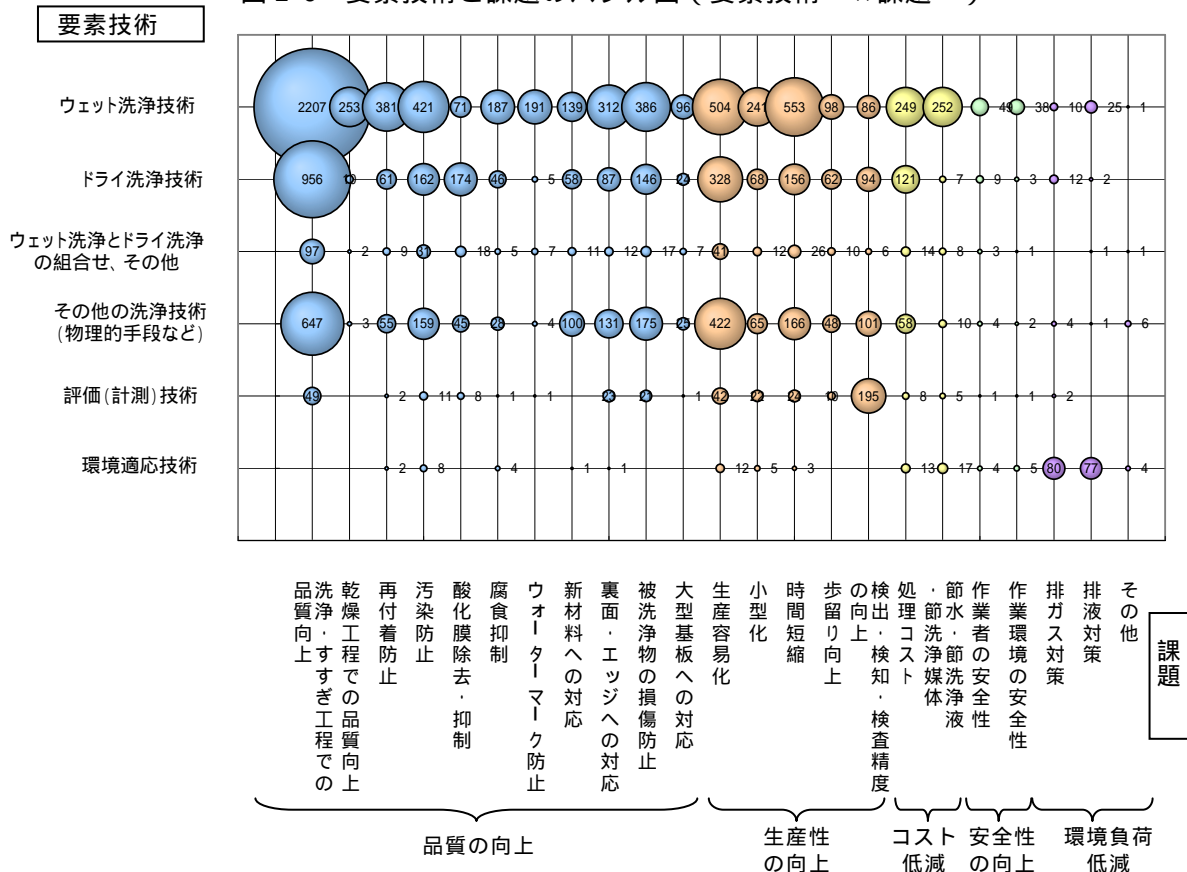
要素技術と課題のバブル図を図2-8に示す。

全体的な要素技術をみると、「ウェット洗浄技術」に関するものが圧倒的に多く、「ドライ洗浄技術」「その他の洗浄技術」と続く。

全体的な課題をみると、「品質の向上」が一番多く、「生産性の向上」「コスト低減」と続く。品質の向上の中では、「洗浄・すすぎ工程での品質向上」は別として、「再付着防止」「裏面・エッジへの対応」「汚染防止」「被洗浄物の損傷防止」が多い。生産性の向上の中では、「時間短縮」「生産容易化」が多い。

以下、要素技術別に課題をみるが、「洗浄・すすぎ工程の品質向上」は別とする。ウェット洗浄技術に対応する課題は「時間短縮」「生産性容易化」が多く、次いで「汚染防止」「被洗浄物の損傷防止」「再付着防止」が多い。ドライ洗浄技術に対応する課題は「生産性容易化」が多く、次いで「酸化膜除去・抑制」「汚染防止」が多く、その次に「時間短縮」「被洗浄物の損傷防止」がくる。その他の洗浄技術に対応する課題は「生産性容易化」が多く、次いで「被洗浄物の損傷防止」「時間短縮」「汚染防止」「裏面・エッジへの対応」が多い。

図2-8 要素技術と課題のバブル図（要素技術 × 課題）



3-2 課題と解決手段

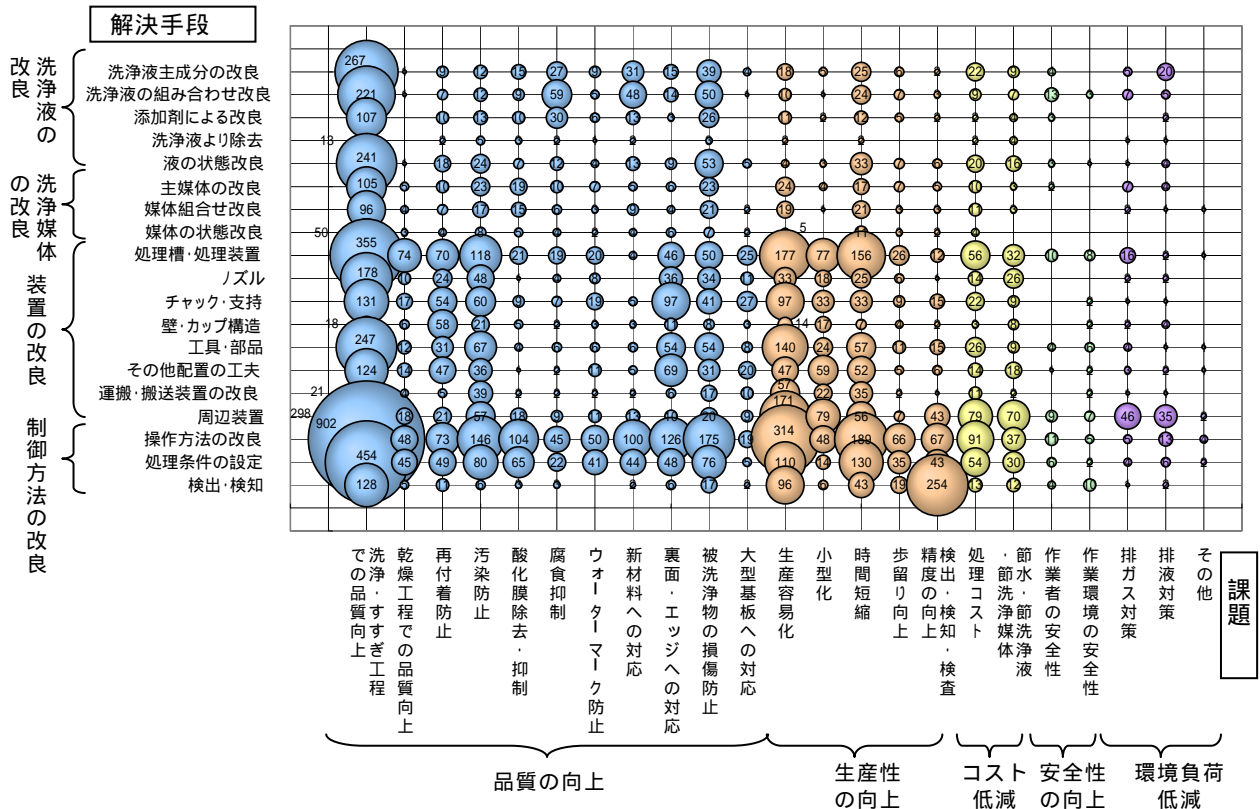
課題と解決手段のバブル図を図2-9に示す。

全体的には「品質の向上」の課題が圧倒的に出願が多く、次いで「生産性の向上」「コスト低減」と続く。品質の向上の中では、「洗浄・すすぎ工程での品質向上」を除くと、「汚染防止」「被洗浄物の損傷防止」が多く「裏面・エッジへの対応」「再付着防止」と続く。生産性の向上の中では、「生産容易化」が多く、次いで「時間短縮」「検出・検知・検査精度の向上」「小型化」と続く。また、コスト低減の中の「処理コスト」も多い。

課題「汚染防止」に対しては、解決手段「操作方法の改良」「処理槽・処理装置」で対応するものが多い。課題「被洗浄物の損傷防止」に対しては、解決手段「操作方法の改良」「処理条件の設定」で対応するものが多いが、「液の状態改良」「洗浄液の組み合わせ改良」によるものもある。課題「裏面・エッジへの対応」に対しては、解決手段「操作方法の改良」「チャック・支持」で対応するものが多い。課題「再付着防止」に対しては、解決手段「操作方法の改良」「処理槽・処理装置」で対応するものが多い。

課題「生産容易化」に対しては、解決手段「操作方法の改良」で対応するものが一番多く、次に「処理槽・処理装置」「周辺装置」「工具・部品」と続く。課題「時間短縮」に対しては、解決手段「操作方法の改良」「処理槽・処理装置」「処理条件の設定」で対応するものが多い。課題「検出・検知・検査精度の向上」と解決手段「検出・検知」方法改良の組合せも多い。課題「小型化」に対しては、解決手段「周辺装置」「処理槽・処理装置」で対応するものが比較的多い。課題「処理コスト」に対しては、解決手段「操作方法の改良」「周辺装置」で対応するものが比較的多い。

図 2-9 課題と解決手段のバブル図 (課題 × 解決手段)



4．出願人別出願・登録動向

日本、米国、欧州、韓国、台湾の5極全体および5極別の出願・登録件数上位ランキングをまとめた。データベースはWPIを使用し、出願年が1996～2005年のデータで集計している。

登録件数推移については、各国における審査請求制度、審査処理に要する期間、審査基準が異なっているので参考程度である。

図2-10に5極合計の出願件数上位ランキング(25位)を示す。

韓国のSamsung Electronicsが1位である。2位東京エレクトロン、3位米国のApplied Materialsと続く。

出願人の約6割が日本の企業である(25社中16社)。米国では、Applied Materials、Lam Research、IBM、Micron Technologyが上位を占めている。欧州では、Infineon Technologies(ドイツ)、Siemens(ドイツ)の2社、韓国では、Samsung ElectronicsとHynix Semiconductorの2社、台湾は、世界最大のファブリーメーカーであるTaiwan Semiconductor¹⁰が入っている。

Infineon Technologies¹¹(ドイツ)は、1999年にSiemens(ドイツ)の半導体部門が分離独立したメーカーである。このため、両者の出願件数を合計するとランキングは6位に繰り上がる。

また、NECエレクトロニクス¹²は、2002年に日本電気から汎用DRAMを除く半導体製品に関する研究・開発、設計、製造、販売およびサービス提供を行うメーカーとして設立されている。

¹⁰ 「2006年度版 日本半導体年鑑」,(株)プレスジャーナル,p71,2005年3月発行

¹¹ <http://www.infineon.com/cgi-bin/ifx/portal/ep/home.do?tabId=0> (2007年1月30日検索)

¹² <http://www.necel.com/news/ja/archive/0211/0101.html> (2007年1月30日検索)

図2-10 出願人別出願件数上位ランキング（5極）

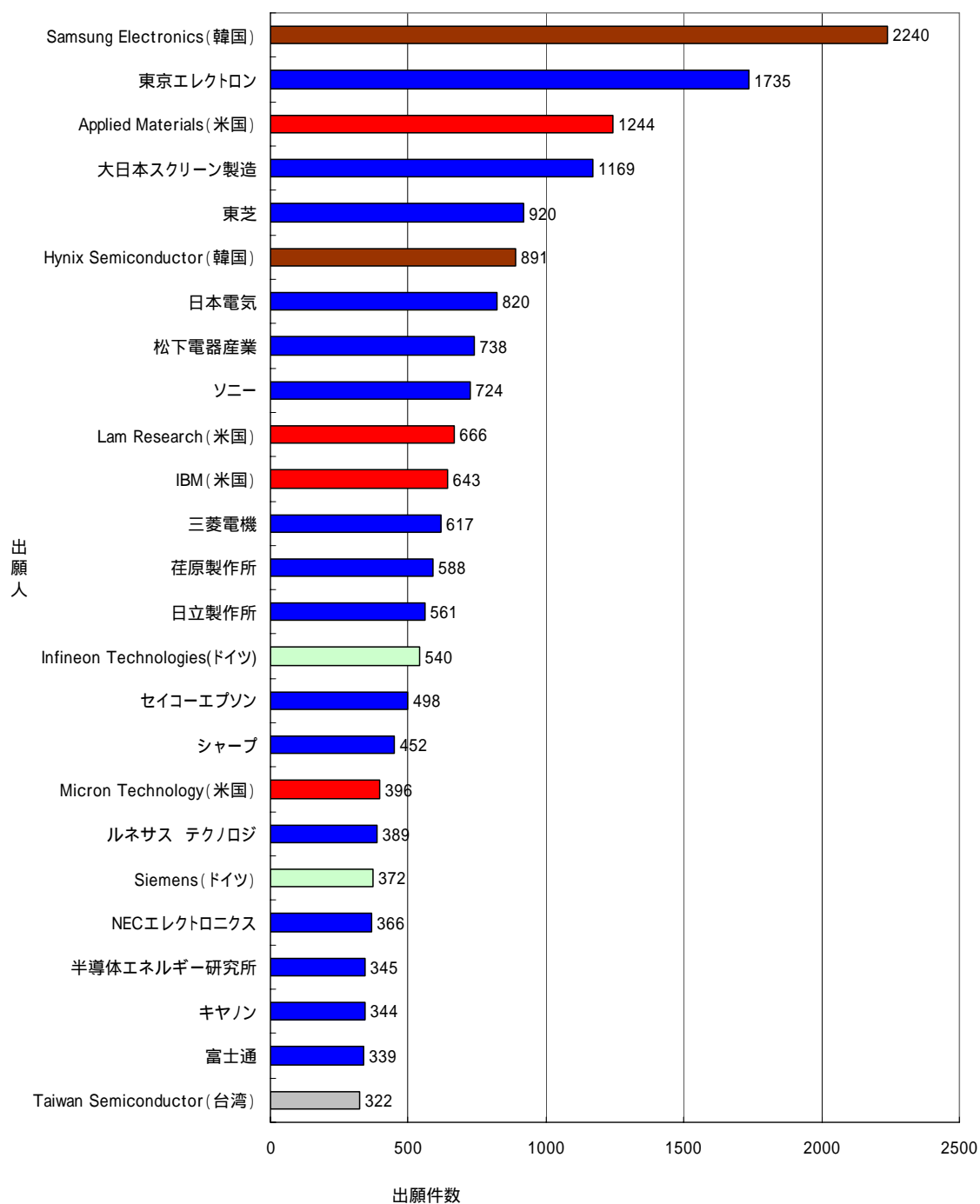
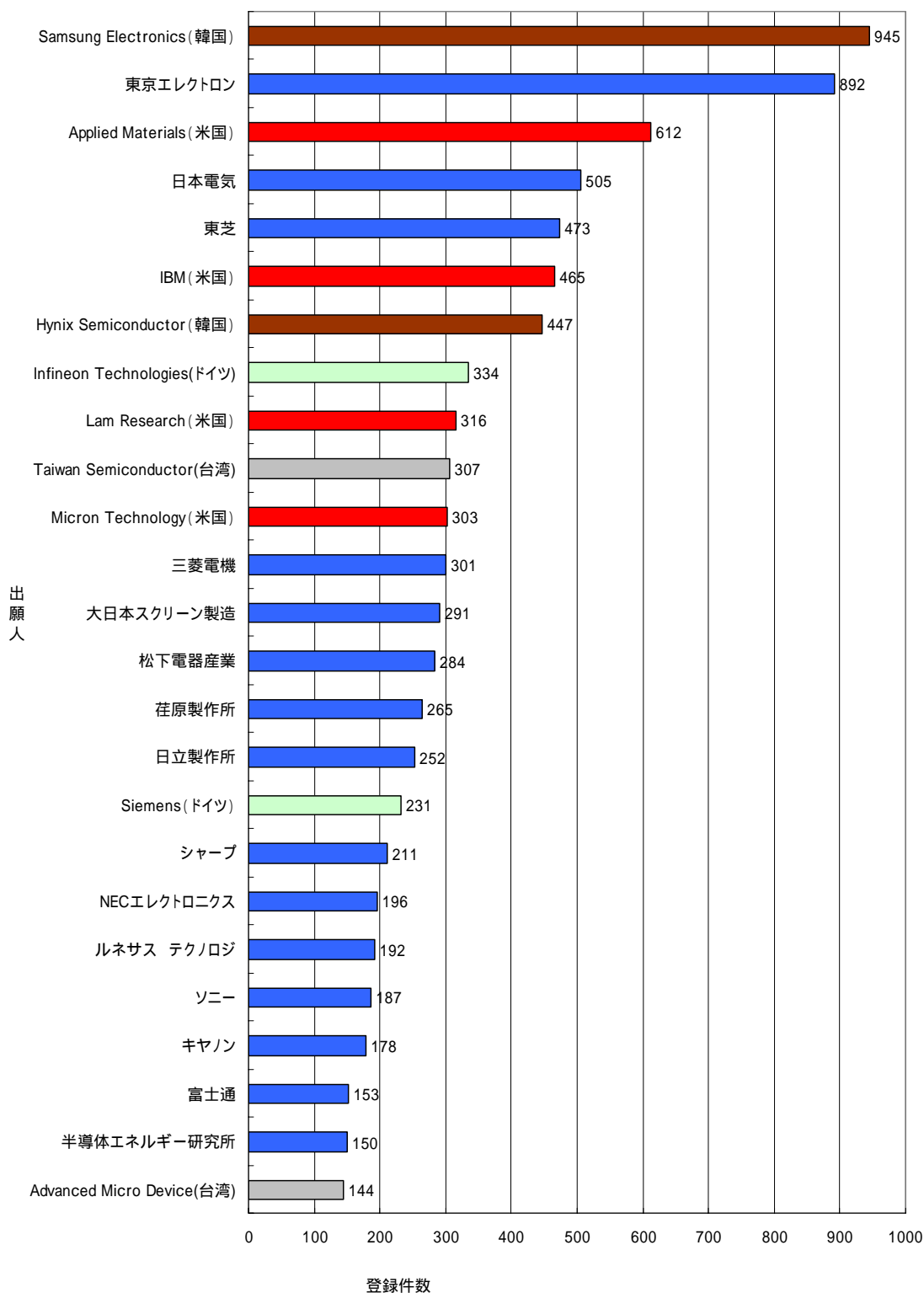


図 2-11 に 5 極合計の登録件数上位ランキング(25 位)を示す。

1 位は、韓国の Samsung Electronics である。2 位東京エレクトロン、3 位は、米国の Applied Materials と続く。出願人の約半数が日本の企業である(25 社中 15 社)。

Infineon Technologies(ドイツ)と Siemens (ドイツ)の出願件数を合計するとランキングは 4 位に繰り上がる。

図2-11 出願人別登録件数上位ランキング(5極)



第3節 注目研究開発テーマ別の特許出願件数動向

下記の表2-2に示す12テーマを注目研究開発テーマと位置づけ、出願推移を解析した。なお、解析は日本特許を対象とした。

表2-2 注目研究開発テーマ

注目開発テーマ	具体的項目
超臨界流体	ウェット洗浄で、超臨界流体を用いる
活性ガス	ドライ洗浄で、活性ガス(オゾン、酸素、水素、フッ素など)を用いる
プラズマ	ドライ洗浄で、プラズマを用いる
光(紫外線、レーザー)	ドライ洗浄で、光(紫外線、レーザー)を用いる
評価(計測)	ウエハ表面の評価、洗浄液の汚染度評価
クロスコンタミネーションの防止	全工程からの再付着及び装置からのコンタミ
ウォーターマーク防止	洗浄工程及び乾燥工程でのウォーターマーク防止
新材料への対応	銅配線、Low-k及びHigh-kゲート材料への対応
裏面・エッジへの対応	ウエハの裏面、エッジ、ベベル面の洗浄
大型基板への対応	300mm 大型基板、FPD(半導体と並列的に記載の場合)
被洗浄物の損傷防止	基板の損傷・溶解防止、パターンダメージ防止
微細構造への対応	微細空隙への浸透性、高アスペクト比への対応

注目開発テーマ別出願件数推移を図2-12に示す。

超臨界流体は、2001年にいっきに出願が増加しその後も多く出願されている。これは、半導体の微細化にともなうパターンダメージ防止などに、超臨界流体を利用した技術が開発されてきているためである。

ドライ洗浄技術を代表するプラズマは、1998、1999年と出願が減少する傾向にあったが、2000年から再び増加し、2003、2004年と急激に伸びている。2003、2004年とも積水化学工業が最も多く出願をしており、洗浄効果の均一化・メンテナンス容易性向上のために常圧プラズマ装置¹³の改良を行なっているものが多かった。

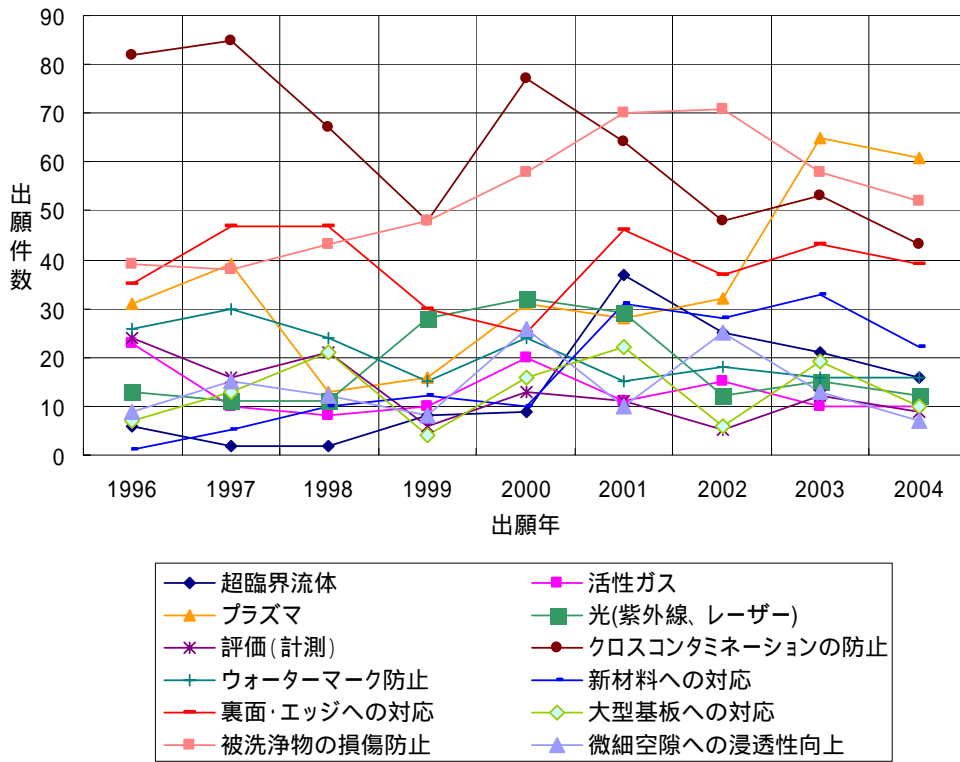
新材料への対応は、2001年に急激に出願が増加し、その後も出願が多いことから、各機関の研究開発の力の入れようが想像できる。

評価(計測)、クロスコンタミネーションの防止、ウォーターマーク防止、裏面・エッジへの対応については、1996年当時から出願が多く、近年も引き続き出願が多い。各機関が継続的に研究開発を行なっているとみられる。

大型基板への対応は、1998年に一度出願がピークとなりその後一旦減少したが、2001年に再びピークを迎えた。

¹³ 特許 3646121、特開 2005-197213、特開 2004-342320、特開 2005-197213、特開 2006-107953、特開 2006-049262 など

図 2-12 注目研究開発テーマ別出願件数推移



第3章 研究開発動向

研究開発動向は、次の二つの情報源を元に、非特許文献を解析することにより行なった。

文献情報検索システム「JDream」が提供する、データベースJSTPlusを使用した解析
半導体洗浄技術に関する代表的な国際会議¹⁴の一つである「International Symposium on
Cleaning Technology in Semiconductor Device Manufacturing」の論文集の解析（以下、
ECS論文）

第1節 全体、要素技術別の推移

JDream 論文と ECS 論文の年次推移を、それぞれ図 3-1 と図 3-2 に示す。

JDream 論文では、1998、2004 年にピークがあるものの、160 件前後で平均的に半導体洗
浄技術に関する論文が毎年発表されている。

ECS 論文では、1997 年、1999 年は 80 件近い発表があった。その後は、40～50 件で推移し
ている。

図 3-1 JDream 論文の年次推移

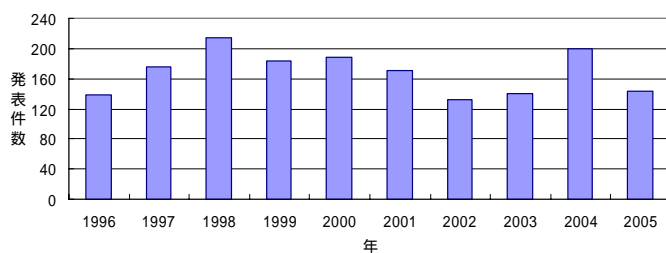
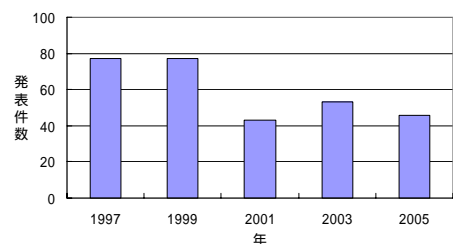


図 3-2 ECS 論文の年次推移



JDream 論文とECS論文の要素技術別比率を、それぞれ図3-3と図3-4に示す。

JDream 論文では、ウェット洗浄技術に関するものが大半を占めていることから、なおウ
ェット洗浄が半導体洗浄の主流であることを示している。

ECS 論文をみると、ここでもウェット洗浄技術に関する論文が全体の約 4 分の 3 を占めて
いることから、ウェット洗浄が主流であることが伺える。

図 3-3 JDream 論文の要素技術別比率
論文数：1,684 件

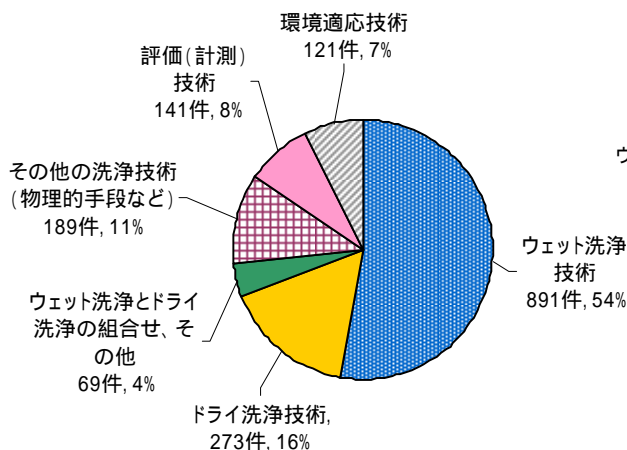
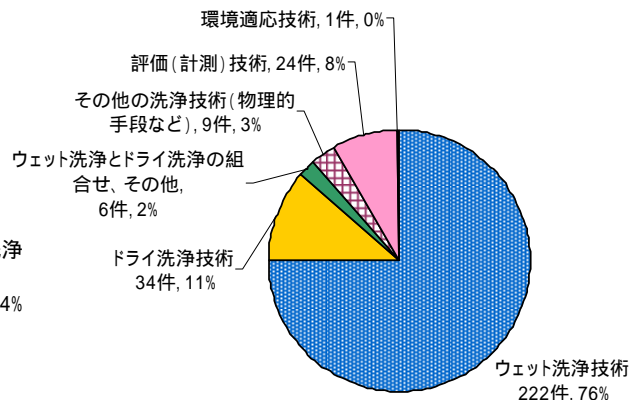


図 3-4 ECS 論文の要素技術別比率
論文数：296 件



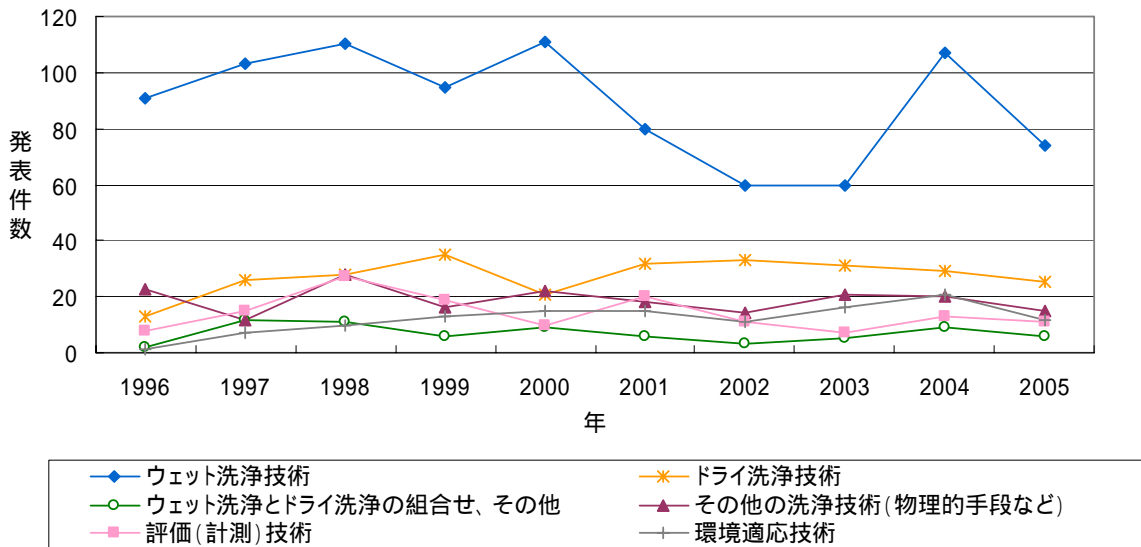
¹⁴ Electrochemical Society が主催して隔年で開催されている半導体洗浄技術分野の代表的な国際学会

JDream 論文と ECS 論文の要素技術別の論文件数の年次推移を、それぞれ図 3-5 と図 3-6 に示す。

JDream 論文をみると、圧倒的にウェット洗浄技術に関する論文が多い。ウェット洗浄技術について、2004 年が 2003 年に比べて急激に増加している。

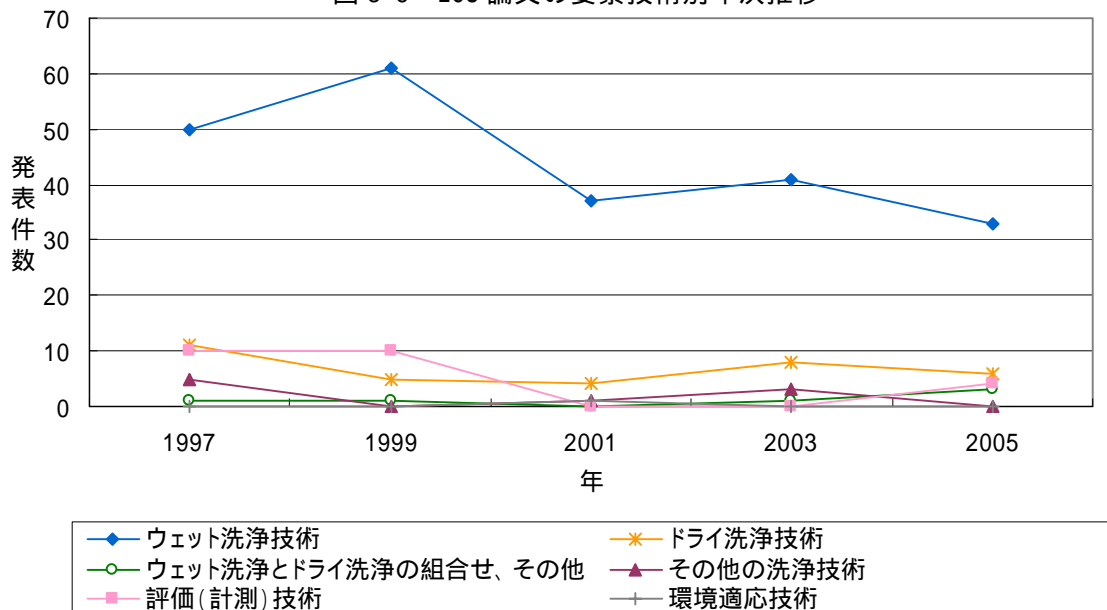
次に多いのがドライ洗浄技術であり、1999 年以降平均的に発表されている

図3-5 JDream 論文の要素技術別年次推移



ECS 論文をみると、ウェット洗浄技術は減少傾向にあり、これが、ECS 論文の全体の件数推移に影響を与えている。

図 3-6 ECS 論文の要素技術別年次推移



第2節 所属機関の国籍別の推移

JDream 論文と ECS 論文の所属機関国籍別比率を、それぞれ図 3-7 と図 3-8 に示す。
 JDream 論文では、日本国籍が一番多く、次いで米国、欧州と続く。
 ECS 論文では、米国国籍が半数を占め、次いで欧州、日本と続く。

図 3-7 JDream 論文の所属機関国籍別比率

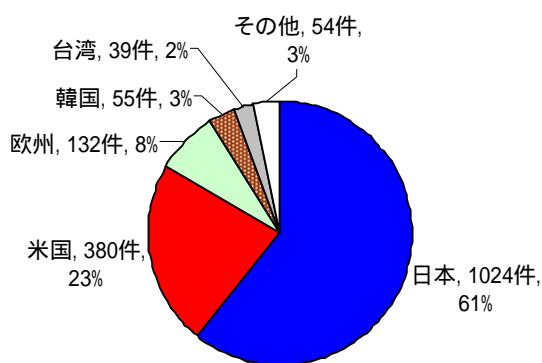
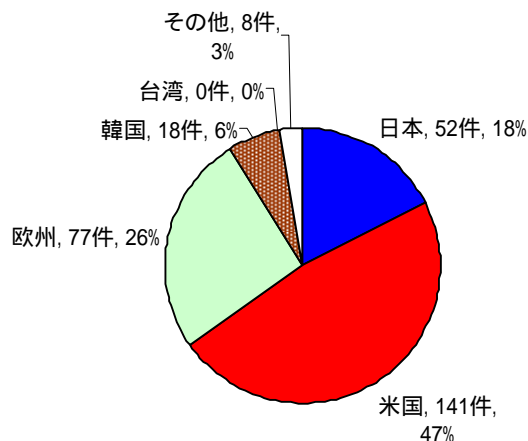


図 3-8 ECS 論文の所属機関国籍別比率



JDream 論文と ECS 論文の所属機関国籍別の年次推移を、それぞれ図 3-9 と図 3-10 に示す。
 JDream 論文をみると、日本の研究者の論文が 2001 年以降減少傾向にある。明確な理由は不明であるが、大学等の研究機関から企業等へ研究者の流動化が加速し、これら研究者が基礎研究から応用研究にシフトしたことが要因の一つではないかと推測される。

ECS 論文をみると、米国は 1999 年に件数を伸ばしているが、日本、欧州、韓国はいずれも減少している(台湾は全期間を通して 0 件)。日本の論文数は、2003 年まで減少傾向にあり、2003 年には米国の件数の 2 割程度である。一方、韓国の論文は若干ではあるが、2003 年から増加し始め、2005 年では日本と同数になっている。

図 3-9 JDream 論文の所属機関国籍別年次推移

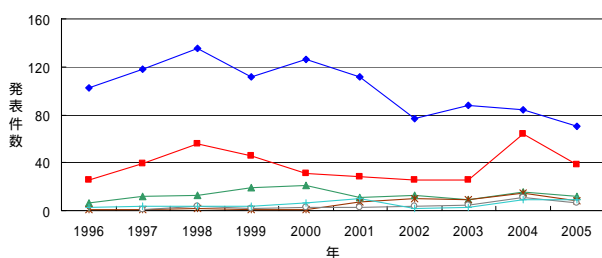
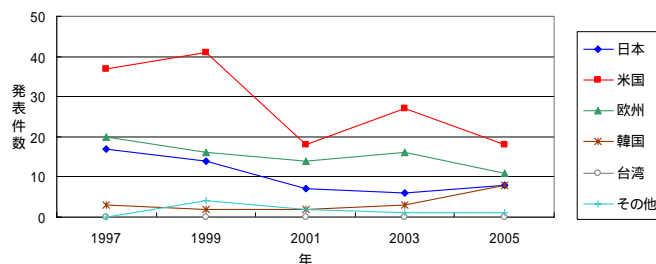


図 3-10 ECS 論文の所属機関国籍別年次推移



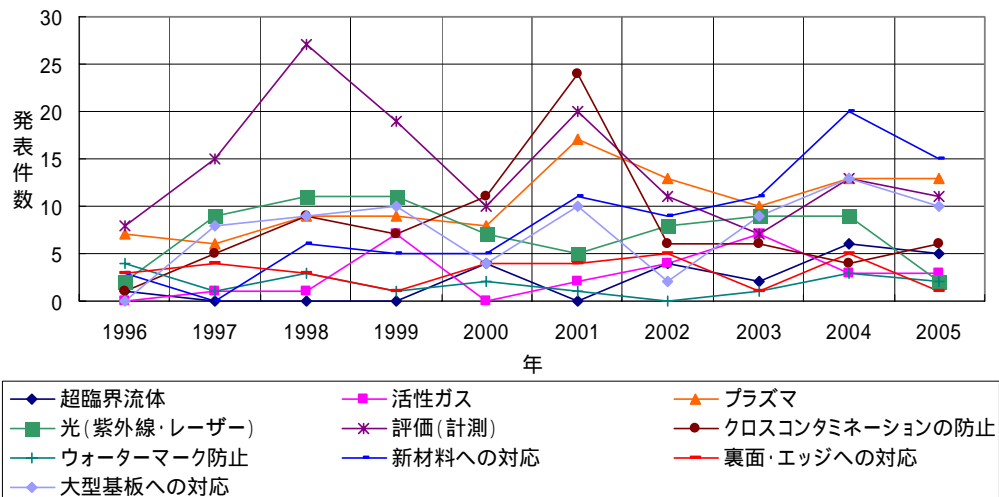
第3節 注目研究開発テーマの推移

JDream 論文と ECS 論文の注目研究開発テーマに関する論文件数の推移を、それぞれ図 3-11 と図 3-12 に示す。

JDream 論文をみると、全体的には、「新材料への対応」に関する論文が増加しているのが注目できる。1998、2001、2004 年にピークが見られ、技術開発のトレンドがある。1998 年のピークでは、「評価（計測）」技術に関係する論文がトップにあり、2001 年のピークでは、「クロスコンタミネーションの防止」に関係する論文がトップにある。さらに 2004 年のピークでは、「新材料への対応」に関係するものがトップにある。

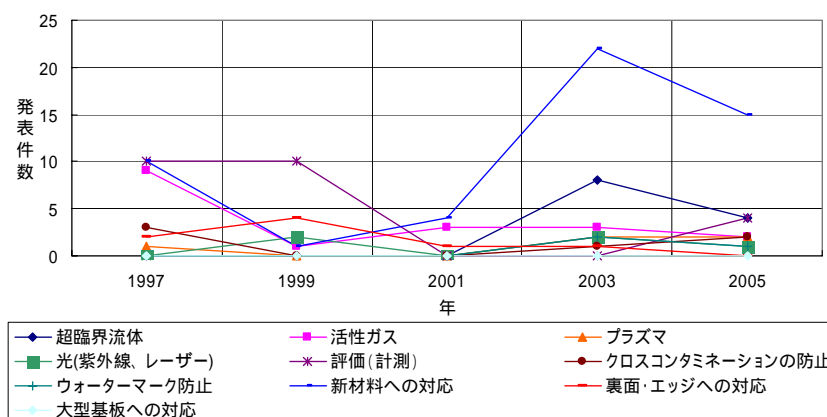
1998 年のピークの評価（計測）技術に関しては、有機汚染の評価に関する研究が多い。また、2001 年のピークのクロスコンタミネーションの防止に関しては、 CoSi_2 や WSi_2 などシリサイドに関連した研究が多い。2004 年のピークの新材料への対応に関しては、Cu 配線、Low-k、High-k のゲート材料に関する研究が多い。

図 3-11 JDream 論文の注目研究開発テーマ別年次推移



ECS 論文をみると、2003、2005 年の新材料への対応の件数が多い。High-k ゲート材料として Zr や Hf の酸化物およびシリケートに関する研究、Low-k 材料 (Cu) に関する研究が多く見られた。

図 3-12 ECS 論文の注目研究開発テーマ別年次推移



第4節 所属機関ランキング、研究者ランキング

JDream 論文とのECS論文の所属機関上位ランキングを、それぞれ表3-1と表3-2に示す。

JDream 論文をみると、調査対象とした論文においては、所属機関では東芝がトップであり、次に東北大学が続いている。海外では、欧州の公的研究機関のIMEC(ベルギー)が6位に入っている。

ECS論文をみると、欧州ではIMEC(ベルギー)やLETI(フランス)が上位を占めていることが特徴的である。ベルギーではIMECのほかに、KU Leuven(大学)の発表も見られる。米国は、FSI InternationalやTexas Instrumentsの企業が上位を占めているほか、University of ArizonaやThe Pennsylvania State Universityといった大学、さらに研究機関のSEMATECHからの発表も多く、産官学の研究者の層が厚いことがうかがえる。日本では、東北大学、ソニーの発表が多い。韓国ではSamsung Electronics、Hanyang Universityの発表が多い。

表3-1 JDream 論文の所属機関上位ランキング 表3-2 ECS 論文の所属機関上位ランキング

No.	所属機関	件数
1	東芝	161
2	東北大学	50
3	カイジョー	35
4	ソニー	28
5	荏原製作所	26
6	三菱電機	25
6	IMEC(ベルギー)	25
8	オルガノ	23
8	日立製作所	23
10	FSI International(米国)	22
11	栗田工業	20
11	Clarkson University(米国)	20
13	Applied Materials(米国)	19
13	産業技術総合研究所	19
15	エム・エフエスアイ	18
16	University of Arizona(米国)	16
16	山形大学	15
18	日本電気	14
18	Motorola(米国)	14
20	Texas Instruments(米国)	13
21	東京大学	12
21	三菱化学	12
21	地球環境産業技術研究機構(RITE)	12
21	National Chiao Tung Univ.(台湾)	12

No.	所属機関	件数
1	IMEC(ベルギー)	36
2	FSI International(米国)	21
3	LETI(フランス)	19
4	Texas Instruments(米国)	18
5	東北大学	17
6	STMicroelectronics(フランス)	14
6	University of Arizona(米国)	14
8	Samsung Electronics(韓国)	12
9	SEMATECH(米国)	10
9	The Pennsylvania State University(米国)	10
11	Hanyang University(韓国)	9
11	ソニー	9
13	Akrion(米国)	8
13	SCP Global Technologies(米国)	8
13	VERTEQ(米国)	8
16	Semtool(米国)	7
16	KU Leuven(ベルギー)	7
16	Stanford University(米国)	7
19	SEZ(オーストリア)	6
20	Advanced Micro Devices(米国)	5
20	STEAG MicroTech(ドイツ)	5
20	栗田工業	5
20	大日本スクリーン製造	5
20	EKC Technology(米国)	5
20	Applied Materials(米国)	5
20	Philips Semiconductors(オランダ)	5

JDream 論文と ECS 論文の研究者上位ランキングを、それぞれ表 3-3 と表 3-4 に示す。

JDream 論文では、最も多く論文を発表している研究者は、大見忠弘氏（東北大学）であり、次に服部毅氏（ソニー）が続く。3 位は A. A. Busnaina 氏（Northeastern Univ.：米国）、4 位は M. M. Heyns 氏（IMEC：ベルギー）、5 位は都田昌之氏（山形大学）である。

表 3-3 JDream 論文の研究者上位ランキング

順位	研究者	所属機関	件数
1	大見忠弘	東北大学	35
2	服部毅	ソニー	20
3	A. A. Busnaina	Northeastern Univ. (米国)	18
4	M. M. Heyns	IMEC (ベルギー)	15
5	都田昌之	山形大学	14
6	森田博志	栗田工業	13
6	Paul W. Mertens	IMEC (ベルギー)	13
6	Steven Verhaverbeke	Applied Materials (米国)	13
9	関屋章	産業技術総合研究所	12
9	別府達郎	地球環境産業技術研究機構(RITE)	12
11	高橋典久	カイジョー	11
11	今岡孝之	オルガノ	11
11	J. W. Butterbaugh	FSI International (米国)	11
14	森永均	フジミ イコポレテッド（もと三菱化学在籍）	10

ECS 論文では、M. M. Heyns 氏、Paul W. Mertens 氏が最も多く論文を発表している（いずれも IMEC：ベルギー）。このほかに IMEC では、S. De Gendt 氏、Rita Vos 氏、Marc Meuris 氏、M. Claes 氏と数多くの研究者を抱えている。3 位は F. Tardif 氏（LETI：フランス）と大見忠弘氏（東北大学）である。日本の研究者では、服部毅氏（ソニー）が 9 位に入っている。韓国の研究者では、Jin-Goo Park 氏（Hanyang University）が著名である。

表 3-4 ECS 論文の研究者上位ランキング

順位	研究者	所属機関	件数
1	M. M. Heyns	IMEC(ベルギー)	23
1	Paul W. Mertens	IMEC(ベルギー)	23
3	F. Tardif	LETI(フランス)	15
3	大見忠弘	東北大学	15
5	S. De Gendt	IMEC(ベルギー)	12
6	Rita Vos	IMEC(ベルギー)	11
7	Ismail Kashkoush	Akrion(米国)	10
7	J. Ruzylo	The Pennsylvania State University(米国)	10
9	服部毅	ソニー	9
9	Richard Novak	Akrion(米国)	9
9	Kurt K. Christenson	FSI International(米国)	9
12	Steven Verhaverbeke	Applied Materials(米国)	8
12	Marc Meuris	IMEC(ベルギー)	8
12	Jin-Goo Park	Hanyang University(韓国)	8

第5節 論文動向と特許動向の比較

論文動向と特許動向について、全体動向、技術区分および注目研究開発テーマの比較を行った。論文についてはJDreamでの解析を用いた。

1. 全体動向

特許の出願件数推移と論文の年次推移と比較すると、特許の出願件数では2001年にピークが見られるが、論文の発表件数では特許よりも数年早い1998年にピークが見られた。

2. 技術区分別

要素技術別出願件数の比率を図3-13に、論文の要素技術別比率を図3-14を示す。特許および論文の比率は、似た傾向を示している。どちらもウェット洗浄技術が約半数を占め、次が、ドライ洗浄技術、その他の洗浄技術（物理的手段など）となっている。ウェット洗浄とドライ洗浄の組合せ、その他、評価（計測）技術、環境適応技術は、特許、論文ともに比率は小さい。

図3-13 要素技術別出願件数の比率

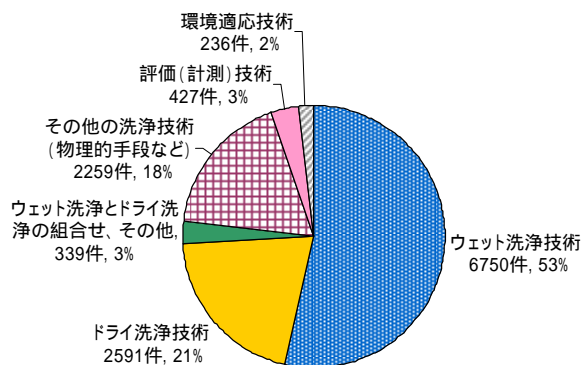
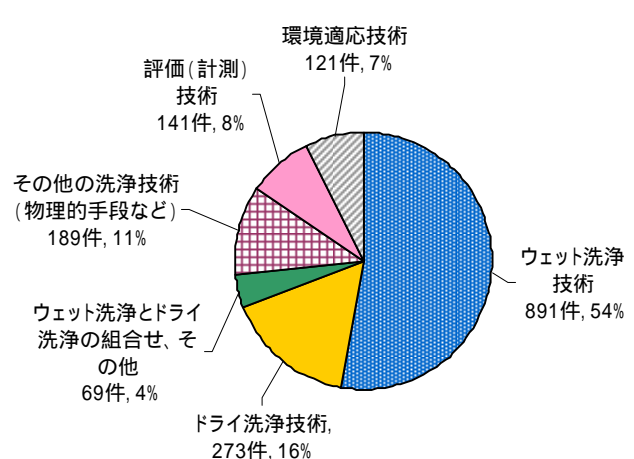


図3-14 論文の要素技術別比率



3. 注目研究開発テーマ

特許の出願件数では、クロスコンタミネーションの防止、被洗浄物の損傷防止、裏面・エッジへの対応、プラズマの順で多く、論文では、評価（計測）、プラズマ、新材料への対応、クロスコンタミネーションの防止の順であった。論文で、最も件数の多かった評価（計測）は、特許では最下位であった。新材料への対応については、全体的に、特許および論文とも増加傾向にある。

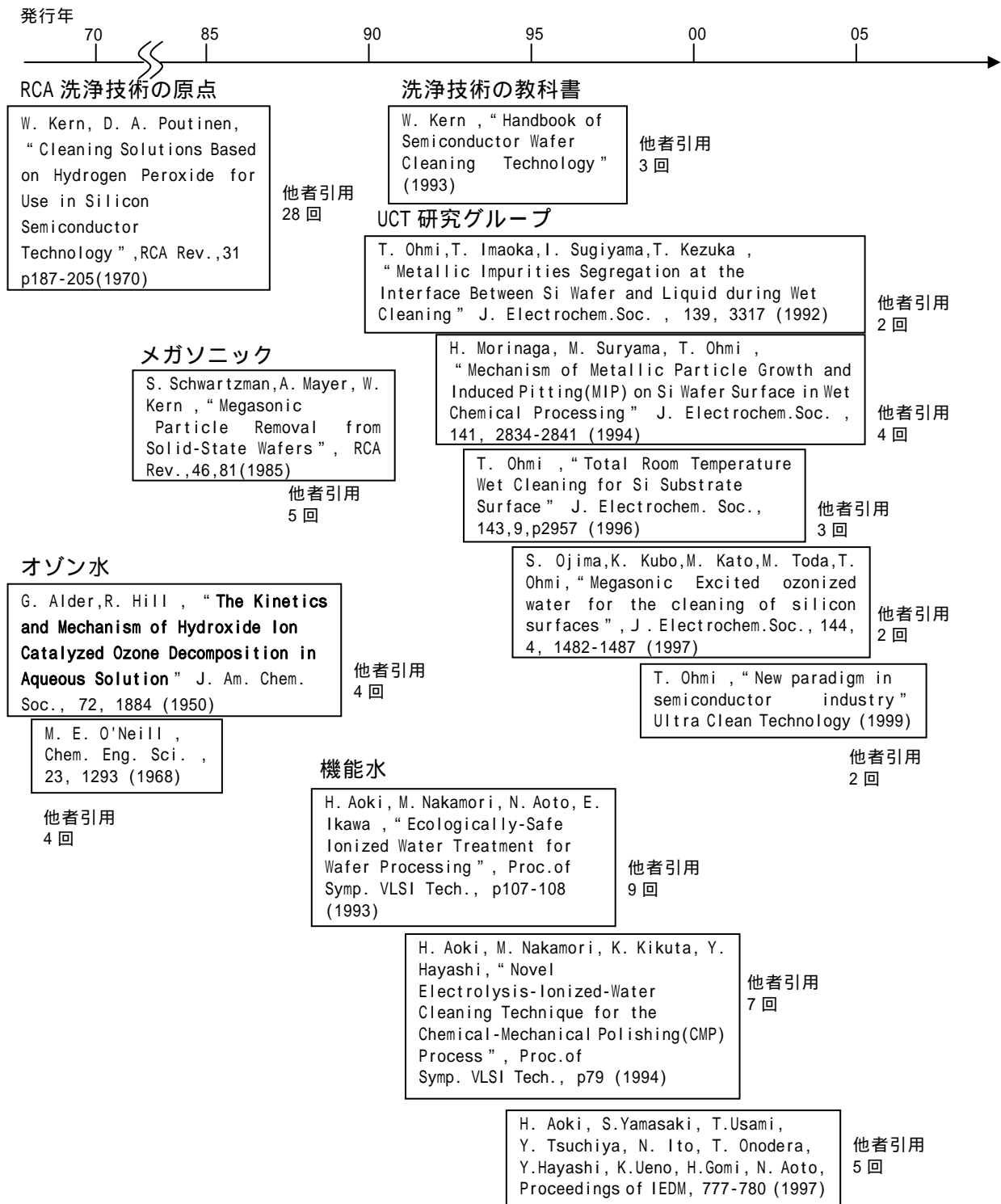
第6節 重要論文の変遷

重要論文の抽出は参考文献を参照しながら技術の変遷を解析した。

図 3-15 にウェット洗浄技術の重要論文変遷を示す。

RCA 洗浄の原点とも言われる参考文献は、1970 年に W.Kern らが雑誌 RCA Rev. に発表した論文であり、被引用回数は 28 回と圧倒的であった。

図 3-15 ウェット洗浄技術の重要論文変遷



第4章 市場、政策動向

半導体洗浄装置の今後の市場動向は、本格的なユビキタス時代の到来を控え、デジタル家電の市場拡大、ネットワーク化の推進、薄型テレビ・携帯電話等の電子機器の市場拡大が予想され、これらの基盤を支える半導体が、300mm ウエハに代表されるような大口径化が進み、本格的な 65nm プロセスの量産を迎えることから、半導体需要の伸びが大きく期待される。このような背景もあり、半導体洗浄機器・洗浄剤の市場も堅調に推移することが予想される。

現状におけるこの分野の開発リーダーは、我が国企業であるが、巻き返しをはかる欧米の企業、急速に力を付けている韓国・台湾企業の動向は注視する必要がある。

我が国では、MIRAI プロジェクトに代表される公的研究機関、企業、大学の連携による開発研究が進められる側面もあるが、今後の半導体の微細化に対応する超臨界流体洗浄技術を更に進展させるためには、コスト面から企業単体で研究開発を進めることは困難であり、国のイニシアチブが期待されている。

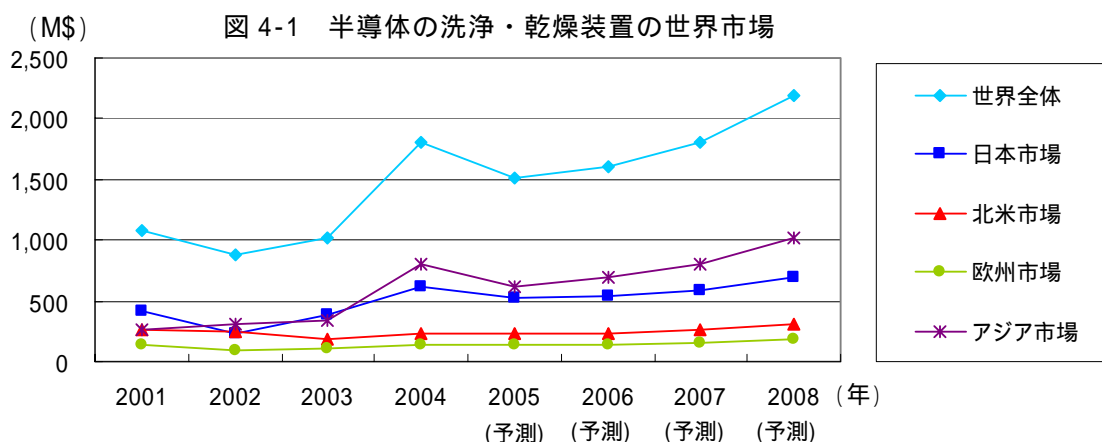
また、米国では、ニューヨーク州立大学アルバニー校に巨大な研究施設群である Albany NanoTech¹⁵を設立しており、ここで、世界中の半導体の研究者が集まり、最新の研究開発が成されている。今後のこの分野における我が国の脅威になることが予想される。

環境に対する配慮は、今後も十分に必要とされるが、特に欧州において検討されている REACH 規制などは、現状の規制を更に強化するものであり、これらに対応する技術開発が我が国企業に強く求められる。

第1節 市場動向

1. 市場規模

図 4-1 に半導体の洗浄・乾燥装置の世界市場を示す。世界全体では、2004 年に市場規模を大幅に拡大している。日本は、2004 年には前年比 58.9% 増の 610 億円となり、2008 年には、691 億円になると予測される。地域別では、2004 年以降アジア、日本、北米、欧州の順で市場を伸ばしていくと見込まれる。



出典：「2005 半導体製造装置データブック」,(株)電子ジャーナル, p 134, 2005 年 9 月発行から数値のみ参照

¹⁵ 参考 ; <http://www.albanynanotech.org/index.cfm>

2. 市場に参入している企業の概況

図 4-2 に半導体の洗浄・乾燥装置の世界市場メーカー別シェア、図 4-3 に日本市場のメーカー別シェアを示す。世界市場の 38% を大日本スクリーン製造が占めトップである。2 位は東京エレクトロン、3 位は SEZ(オーストリア)である。世界市場の半数を日本が獲得している。日本市場においても大日本スクリーン製造が 51% を占めトップであり、2 位以下を大きく引き離している。2 位は東京エレクトロン、3 位は SEZ(オーストリア)である。

大日本スクリーン製造、東京エレクトロンは、浸漬式、枚葉式どちらの洗浄装置も生産しているが、世界、日本市場ともに 3 位につけている SEZ(オーストリア)は、枚葉式洗浄装置に特化している装置メーカーである。SEZ は、過去に浸漬式洗浄装置メーカーを買収し、浸漬式洗浄装置もラインナップしていたが、その後、浸漬式からは撤退している。2003 年に 200mm/300mm 対応の 8 チャンバー搭載の「DV-38」(Da Vinci シリーズ)を市場に投入し、2006 年 11 月には 45nm 世代以降の洗浄・レジスト除去プロセスに対応した枚葉式洗浄プラットフォーム「Esanti」を発表¹⁶している。「Esanti」には、「Da Vinci」シリーズの洗浄装置にも搭載されたポリマー洗浄や裏面処理などの機能とともに、両面処理機能、欠陥除去効果を高める Active-Jet スプレー技術、大気圧での乾燥機能などがある。浸漬式に匹敵するスループットを誇っている。また、世界市場 4 位の SCP Global Technologies(米国)、5 位のエス・イー・エスは、浸漬式に特化した装置メーカーである。

現在、スループットの向上が技術課題となっている枚葉式洗浄ではあるが、近年、浸漬式から枚葉式への移行が加速されており、今後、枚葉洗浄に特化している SEZ が市場を伸ばす可能性もうかがえる。

図 4-2 洗浄・乾燥装置の世界市場
メーカー別シェア(2004年)

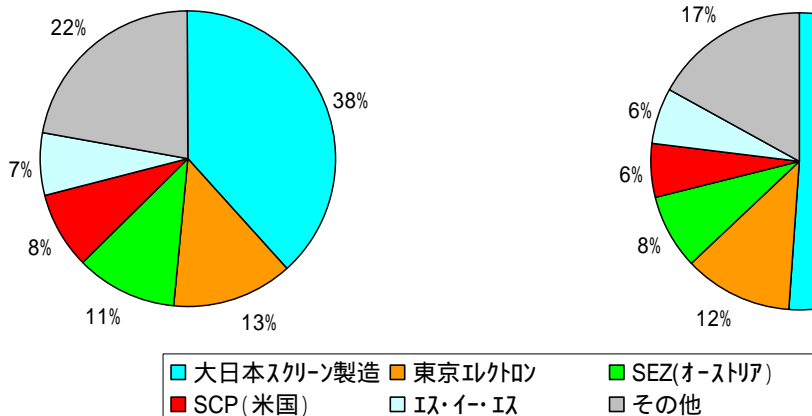
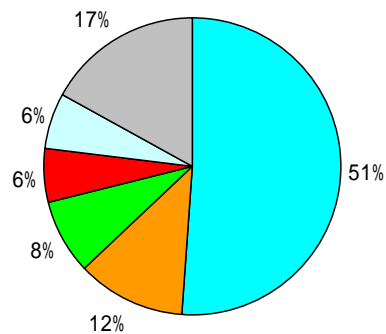


図 4-3 洗浄・乾燥装置の日本市場
メーカー別シェア(2004年)



出典：「2005 半導体製造装置データブック」,(株)電子ジャーナル, p135, 2005年9月発行

第 2 節 政策動向

日本、米国、欧州、韓国、台湾について、半導体洗浄技術に関連する各国の政策・プロジェクトなどについて調査した。

¹⁶ <http://www.sez.com/nr/exeres/81F0FD6D-DACB-410B-BE9F-E3E45103EAA3.htm?suchstr=esanti> (2007年2月5日検索)

日本では、政府主導による MIRAI プロジェクトを中心に、公的研究機関、企業、大学の連携による開発研究が進められ、韓国・台湾でも政府支援によるプロジェクトが展開されている。欧州では、IMEC、LETI などの強力な組織によりプロジェクトが進められている。米国では、こうした日本、アジア、欧州での胎動に危機感を持ち、連邦政府レベルの支援だけに頼ることなく、州政府レベルの支援を受けて大学を中心にコンソーシアムを形成し研究開発が進められている。

1. 日本

経済産業省は半導体技術戦略マップを作成しているが、洗浄技術に係る箇所（一部抜粋）を表 4-1 に示す。

表 4-1 半導体技術戦略マップ（ロードマップ）で洗浄技術に係る箇所（一部抜粋）

技術分野	分野構造				評価パラメータ	年度(西暦)									
	大項目	中項目	小項目	重要課題		05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
半導体	デバイスプロセス技術	LSTVデバイス技術	デバイス微細化	パターン寸法の微細化	DRAM 1-1 ピッチ(nm)	80	70	65	57	50	45	40	35	32	28
		プロセス技術	洗浄技術	新規洗浄技術	洗浄の方法	物理ゲート長 (nm)	53	45	37	32	28	25	23	20	18

(出典：平成 17 年度経済産業省資料)

日本は、洗浄技術を半導体製造技術の一つとして位置づけ、経済産業省の指導のもと、NEDO 技術開発機構と産業技術総合研究所を中心に民間団体と連携を取り合っプロジェクトを推進している。各団体の半導体洗浄技術に関連する研究事業を表 4-2 に示す。

なお、表中のプロジェクトは他団体との共同研究もみられるので、重なる部分もある。

表 4-2 各団体の半導体洗浄技術に関連する研究事業

団体名	プロジェクト	半導体洗浄技術に関連する内容	事業年度
新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）	高効率次世代半導体製造システム技術開発助成事業	省エネ型半導体プロセス製造装置及び関連機器の開発	2001～2003
	次世代半導体材料・プロセス基板技術開発	新材料、微細化への技術課題の解決	2001～2007
産業技術総合研究所 次世代半導体研究センター（ASRC）	半導体 MIRAI プロジェクト 第 1 期	Low-K 微細パターンの洗浄・評価技術	2001～2003
	半導体 MIRAI プロジェクト 第 2 期	新材料への対応技術	2004～2005
	半導体 MIRAI プロジェクト 第 3 期	hp45nm を超える極微細化への対応	2006～2010
技術研究組合 超先端電子技術開発機構（ASET）	超先端電子技術 クリーニング	表面クリーニング技術の開発	1995～2000
	EUV プロセス技術	マスククリーニング技術	2002～2006
	高効率半導体装置技術	CMP 技術の継続研究	2004～

出典：<http://www.nedo.go.jp/>, <http://www.aist.go.jp/>, <http://www.aset.or.jp/>

(2006 年 11 月 30 日検索)

2. 米国

連邦政府は国防総省などの個別機関を通して研究機関に資金を援助するのが通例である。従って、国防総省がプロジェクトを立ち上げる場合、どれだけ国防に役立つかを評価し、援助される資金の額が決定される。

半導体についても、軍事産業とのつながりが大きいので、これまで相当の国防予算を取ってきた。特に 1980 年代、日本に半導体のリーダーシップを奪われそうな時、多額の資金を投じて、半導体メーカー 14 社がメンバーである研究組織セマテック¹⁷(SEMATECH: Semiconductor Manufacturing Technology) を立ち上げた。これが功を奏して、1990 年代初めには世界で最も優れた製品を生産するようになり、1990 年代後半のハイテク景気の飛躍へとつながった。

しかし 2000 年代に入り、東アジア・欧州における産業政策による研究開発・生産能力が加速し、米国の優位は陰り始めてきた。その上、半導体支援に向けられた国防予算が減少し、産業界は危機感を感じてきている。

こうした中、連邦政府に代わって州政府の動きがあり、例えばニューヨーク州はニューヨーク州立大学アルバニー校に巨大な研究施設群であるナノテクセンターを設立した。この施設への企業誘致に、ソニー、東芝、IBM、インフィネオン、サムスンなど多くの企業が参画し、いわば IMEC と対抗する機関となっている。またこの施設の中には、SEMATECH NORTH があり、EUV リソグラフィーなどの先端的研究も行なわれている。テキサス州ではテキサス大学とチップ・メーカーがキャンパス近くに生産設備を作り連携を計っている。

3. 欧州

欧州諸国における産業界の研究開発の施策は、大きく 3 つに分けられる。(1) EU (European Union) のフレームワークプログラムによる支援、(2) EU のユーレカによる支援、(3) 各国独自の政策による支援である。

(1) EU のフレームワークプログラム

フレームワークプログラムは、市場前段階における研究開発に対する支援スキームである。欧州委員会が助成金を支出する。現在は、第 6 次フレームワークプログラム (2002 ~ 2006 年) を実施中であり、半導体に関連するのは、情報技術分野の Information Society Technologies (IST) に含まれている。

表 4-3 に CORDIS¹⁸ から検索した IST における半導体洗浄技術に関連のあるプロジェクトを示す。

¹⁷ 1987 年に国防総省と半導体メーカー 14 社が出資してコンソーシアムとして発足した半導体製造技術研究所である。その後政府支援が打ち切れ、1998 年に民間組織である International SEMATECH に移行したが、2004 年に再び SEMATECH に名称変更になり現在に至っている。

¹⁸ CORDIS: ヨーロッパの研究計画と助成金に関する情報を提供。EU 加盟国からなる欧州委員会により運営管理されており、加盟国各国と協力関係にある。

表 4-3 IST における半導体洗浄技術に関連のあるプロジェクト

プロジェクト 略称	プロジェクト名	期間	費用 (百万ユーロ)
OXEPICLE	Oxidation and EPItaxy pre CLEAn treatments	2000.01.01 ~ 2001.06.30	3.66
CLEANTOOL	Innovative a evaluation and design of industrial surface cleaning processes	2001.06.07 ~ 2004.09.06	1.87
NOW	New European Ozonated Water vapour solution for resist stripping and organic residues removal	2001.09.01 ~ 2003.02.28	4.98

出典： <http://cordis.europa.eu/ist/projects/projects.htm> (2006年11月20日検索)
[検索条件]Search term:semiconductor, cleaning Framework Programme:All

(2) ユーレカ

ユーレカは、欧州委員会は原則として助成金は出さず各国政府が助成金を出し合う、市場性のある技術開発に対する支援スキームである。フレームワークプログラムが市場前の研究に対する支援であるから、ユーレカとは相互補完的な関係になっている。

ユーレカのうち、半導体分野では、MEDEA および MEDEA + の 2 つの大型プロジェクトが注目される。MEDEA は、日米に対し遅れていた欧州の半導体技術のレベルを引き上げることを目標にして 1997 年に開始された。その後 2001 年から開始された MEDEA + は、MEDEA を引き継ぐものであり、ユーレカの中核をなすプロジェクトである。MEDEA + の期間は 2008 年までで、MEDEA および MEDEA + プロジェクトの推進が、欧州半導体メーカーの躍進に大いに貢献していると言える。

(3) IMEC (Interuniversity Microelectronics Center)¹⁹ / ベルギー

IMEC は、マイクロエレクトロニクス分野における欧州最大の研究機関である。世界中の大手半導体企業やベンチャーなど 500 社以上のパートナーを持ち、非営利組織として 1984 年に設立されている。IMEC は、企業との共同研究を国際的に展開しているほか、技術移転やスピンオフ企業の設立にも熱心である。スピンオフ企業の支援のために、ベルギーの主要金融機関と IMEC の出資による IMEC Incubation Fund(IIF)を 1997 年に設立している。

IMEC の研究領域のひとつに、「CMOS-based nanoelectronics」があり、その中の「Ultra-clean processing」という研究プログラムで洗浄について扱っている。Ultra-clean processing では、コンタミネーションの制御、コンタミネーションの計測、枚葉式洗浄などのサブテーマに取り組み、High-k メタルゲートスタック、Low-k のエッチング残留物の除去、CMP 後洗浄などを視野に入れた研究開発が推進されている。

また、IMEC は半導体デバイスのクリーン化技術を対象とした大規模な国際会議を隔年で主催している。

(4) LETI (Laboratoire d'Electronique de Technologie de l'Information)^{20, 21} / フランス

LETI はフランス原子力庁 (CEA) の傘下にある公的研究機関で、1967 年に設立され、主に半導体やナノ、バイオテクノロジーの応用研究を行っている。

¹⁹ http://www.imec.be/ovinter/static_general/start_en_flash.shtml (2006年11月24日検索)

²⁰ <http://www-leti.cea.fr/uk/index-uk.htm> (2006年12月4日検索)

²¹ <http://leti.seika-mt.com/introduction/index.html> (2006年12月4日検索)

研究分野は、Silicon technology, Microsystem technology, Optical components and multimedia, Transmission and telecommunication systems, Healthcare and biological systems, Designの6分野である。LETIにおいても半導体洗浄に関連する研究が活発に行われている。

4. 韓国

韓国の半導体産業は、DRAMを中心としたメモリに特化することで、1980年代から1990年代にかけて急成長した。その後、1996年のPC不況、1997年の国際通貨基金ショックなどにより厳しい状況に直面したが、半導体市場の好転も影響して1999年から2000年にかけて盛り返している。2001年には世界的な半導体不況のあおりを受けたが、2002年以降、半導体生産量は増加している。

韓国の科学技術政策²²として、政府は1999年に先進国に対する科学技術競争力を確保することをめざし「2025年に向けた科学技術発展長期ビジョン」を策定している。2001年には科学技術基本法を制定し、具体的な目標として科学技術基本計画(2002～2006年)を策定した。科学技術基本計画では戦略的に6分野を設定している、すなわち「IT(情報技術)、バイオテクノロジー、ナノテクノロジー、宇宙航空技術、環境・エネルギー技術、文化技術」である。半導体に関する政策は、IT(情報技術)分野の中で進められていると思われる。

2003年には、科学技術中心の社会構築に向けて、次世代成長動力推進戦略を策定しその中で「10大未来成長産業²³」を指定している。そのひとつに次世代半導体産業があり、他の産業分野としては、知能ホームネットワーク、デジタルコンテンツおよびソフトウェア・ソリューション、知能型ロボット、未来型自動車、デジタルTV放送、ディスプレイ、次世代移動通信、次世代電池、バイオ新薬がある。2004年には韓国政府の科学技術部に科学技術革新本部を設置している。

韓国の半導体洗浄に関する具体的なプロジェクトは見出せなかったが、公的研究機関の韓国科学技術研究院(KIST: Korea Institute of Science and Technology)、政府が一流研究者の育成などを目的に設立した国立大学の韓国科学技術院(KAIST: Korea Advanced Institute of Science and Technology)、および関連する団体として韓国半導体産業協会(KSIA: Korea Semiconductor Industry Association)について述べる。

(1) KIST²⁴

KISTは、米国の支援によって1966年に設立された。VISION 2010では、世界のトップ10の科学研究機関になることを目指している。KISTには5つの研究センターとして、Future Technology Research Division, Materials Science and Technology Division, Systems Technology Division, Environment & Process Technology Division, Life Sciences Divisionが設立されている。

また、Institutional Programには、次の5つの研究分野がある。

²² 平成18年版科学技術白書, p47・p49, 文部科学省

²³ 科学技術・学術審議会第2期国際化推進委員会(第2回)

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu9/siryu/001/04032401/009.htm (2006年11月29日検索)

²⁴ <http://www.kist.re.kr/en/index.asp> (2006年12月7日検索)

- Nano devices/microelectronics technology
- Intelligent Human Computer Interaction(HCI)
- Micro system
- Bio-active lead compounds
- Sustainable environment technology

(2) KAIST²⁵

KAISTも韓国の科学技術分野で重要な役割を果たしている。1971年に韓国初の政府援助による、科学技術分野のみを専門とする大学院として誕生した。後に前述のKISTと1981年に合併が行われたが、1989年に再び分離し現在のKAISTとなった。同年、Korea Institute of Technology(KIT)と統合した。国際的に著名な教授の確保、国際水準のインフラの構築などの方針により、世界の主要な研究本位の大学の一つとなることを目指している。1999年、2000年には、Asia Week誌アジア地域理工系大学評価2年連続総合1位、1992年には米国のAccreditation Board for Engineering and Technology (ABET: 米国高等工学教育評価機関)からアジア圏最初となる「世界のトップ10校となりうる潜在力を持った大学」との評価を受けている²⁶。

(3) KSIA²⁷

KSIAは1991年に設立された半導体産業協会である。韓国の半導体産業の発展のために技術開発および半導体生産を推進させることを目標としている。

5. 台湾

台湾の半導体洗浄に関する具体的なプロジェクトは見出せなかったが、台湾の半導体産業の振興を担ってきた工業技術研究院 (ITRI: Industrial Technology Research Institute)、国立応用技術研究所 (NARL: National Applied Research Laboratories)、および関連する団体として台湾半導体産業協会 (TSIA: Taiwan Semiconductor Industry Association) について述べる。

(1) ITRI²⁸

台湾政府は経済部傘下に台湾における工業技術の発展促進、新しい科学技術に基づく産業の創立、産業技術水準の向上などを目的として、1973年にITRIを設立した。ITRIは、電子・情報・通信、精密加工・システム、材料・ナノテクノロジー、バイオ・医薬品、エネルギー・環境の5大技術分野にわたる先端技術の開発に携わり、台湾産業の発展へ多大な貢献をしている。半導体技術については、電子・情報・通信分野で研究開発が進められている。またITRIから産業界へ優秀な人材を数多く輩出しており、半導体企業を誕生させている。表4-4にITRIからスピンアウトした半導体企業などの一例を示す。

²⁵ <http://www.kaist.ac.kr/> (2006年12月7日検索)

²⁶ http://www.kaist.edu/about/int_keyno/int_keyno.html (2006年12月7日検索)

²⁷ <http://www.ksia.or.kr/eng/about/mission.jsp> (2006年12月8日検索)

²⁸ <http://www.itri.org.tw/eng/index.jsp> (2006年11月27日検索)

表 4-4 ITRI からスピアウトした半導体関連の企業

年	名称	概要
1979	United Microelectronics(UMC)	台湾で最初に 4 インチウエハで製造
1987	Taiwan Semiconductor Manufacturing(TSMC)	台湾で最初に 6 インチウエハで製造
1988	Taiwan Mask Corporation(TMC)	台湾で最初にマスクを製造
1994	Vanguard International Semiconductor(VIS)	台湾で最初に 8 インチウエハで製造

出典：http://www.itri.org.tw/eng/about/history.jsp (2006 年 11 月 27 日検索)

(2) NARL²⁹

一方、NARL は 2003 年に設立された公的研究機関であり、その中に 9 つの研究センターを持っている。NARL 全体の 2005 年度の収入は、151 百万 US ドルである。研究センターのひとつである National Nano Device laboratories(NDL)³⁰で、半導体デバイスの研究および技術者の育成を行っている。

(3) TSIA³¹

TSIA は台湾の半導体産業の推進のために 1996 年に設立された半導体産業協会である。2001 年には 140 以上の R&D、設計、製造、パッケージ、検査、装置、材料分野のメーカーおよび関連する機関がメンバーとなっている。

第 3 節 環境政策

表 4-5 に世界、日米欧の環境への取組みを示す。

化学物質の環境リスクに対する国際的な取組みは、現在、1992 年 6 月に開催された国連環境開発会議 (UNCED) で採択された「アジェンダ 21」の“第 19 章 有害かつ危険な製品の不法な国際取引の防止を含む有害化学物質の不法な国際取引の防止を含む有害化学物質の環境上適性な管理”に基づいて進められている。

国連環境計画 (UNEP) では、1976 年から国際有害物質登録制度 (IRPTC) を実施している。ここでは、各機関から出される化学物質のリスクと便益に係る科学的、経済的、法的な全ての情報を物質ごとに集めて情報発信している。現在、IRPTC は、「UNEP 化学 (UNEP Chemicals)」と改称され、他の国際機関と連携した活動を行なっている。

世界半導体会議 (WSC) では、1999 年に各国の PFC 排出量削減の数値目標について論議を行い、各国の目標値が合意された。

欧州、日本、韓国、台湾、米国の 5 極の専門家によって、2 年に 1 度公表されている国際半導体技術ロードマップ、「International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)」では、“Environment, Safety, and Health (ESH)” の章で環境、安全、健康に考慮したウエハの洗浄について低濃度の化学物質の使用、洗浄水・排水の削減を取り上げている。

²⁹ http://www.narl.org.tw/en/about_us/ (2006 年 11 月 27 日検索)

³⁰ http://www.ndl.org.tw/ndl2006/eng/aboutndl/index.html (2006 年 11 月 27 日検索)

³¹ http://www.tsia.org.tw/English/ (2006 年 12 月 8 日検索)

表 4-5 環境への対応

年	世界	日本	米国	欧州
1970年代	国際有害物質登録制度 (IRPTC)(1976)		有害物質規制法 (TSCA)(1976)	
1980年代		オゾン層保護法 (1988)	プロポジション 65 (カリフォルニア州法)(1986)	
1990年代	国連環境会議(UNCED)「アジェンダ 21」 (1992) 地球サミットで「地球温暖化問題」クローズアップ(1992) 地球規模化学物質情報ネットワーク(GINC)(1994) 化学物質の安全性に関する政府間フォーラム(IFCS)(1994) 地球温暖化防止国際会議(京都会議)で温暖化ガス削減の各国ごとの数値決定(1997)	環境基本法 (1993) 温暖化防止法 (1998)		IPPC 指令 (1996)
2000～2004年代		循環型社会形成推進基本法 (2000) PRTR 制度 (2001.1) MSDS 制度 (2001.4)		
2005～	京都議定書発効(2005.2)	大気汚染防止法改正(VOC 排出量の規制)(2005.6)		RoHS 指令 (2006) REACH 規則 (2007)

第5章 総合分析

第1節 今後の半導体洗浄技術の展望について

1. ウェット洗浄とドライ洗浄の将来展望

今後の主流となる技術については特許分析、論文分析の結果からもウェット洗浄であるといえる。但し、半導体の微細化がますます加速することから、水の表面張力の問題が発生し、期待した洗浄効果が得られないという課題が将来的には顕著となる。

また、微細空隙に残った水分についてパターンダメージを与えることなく除去し、ウォーターマークも発生させない乾燥技術の研究の進展も望まれる。

近年の半導体の微細化が進む中で、ドライ洗浄技術は、乾式で半導体の表面から汚染物質を除去する技術であり、薬液を殆どあるいは全く使用しないことから環境面で有利とされ、ウェット洗浄に変わる洗浄技術として期待されている。

一方、除去対象となる汚染物質が、有機物、無機物等であるかに対して、ドライ洗浄に用いる手段として活性ガス、蒸気、プラズマ、紫外線等を適切に選択しなければならないという制約もある。

ドライ洗浄の一つであるプラズマを用いた洗浄技術に対する期待が拡大していることは、特許出願の傾向(図2-12参照)からも伺える。一部の企業においては、装置を小型可能な大気圧付近でのプラズマ洗浄装置が実用化され市場に供給されている。

一般的に、プラズマを用いたドライ洗浄は、半導体に付着した有機物の除去や酸化膜の除去に主として用いられており、処理室内で生成したプラズマにより半導体に付着した有機物等の除去を行う技術であるが、洗浄時に半導体基板そのものにダメージを与えるという欠点も指摘³²されている。そのため、洗浄後の洗浄評価が重要とされており、これらの課題を解決する研究開発が望まれている。

2. 浸漬式と枚葉式洗浄の将来展望

ウェット洗浄技術において浸漬式か枚葉式に大別されるが、枚葉式による洗浄が拡大しつつあり、2006年時点では、浸漬と枚葉の比率は7:3であったが、2008年には5:5になるという予測³³もある。

浸漬式の一番のメリットはスループットが高くコストを抑えることにある。現在、浸漬式の能力は最大600枚/時間と言われ、一度に大量に洗浄でき、高温プロセスで安定性が高いという利点がある。

一方、現在のところ枚葉式は50枚～150枚/時間であり、スループットという点では浸漬式には及ばない、しかしながら、スループット向上のためマルチチャンバーを導入するなどの工夫や、洗浄条件を詳細に設定できるなどプロセス調整が容易という利点もあり、多品種・少量生産に適していることからニーズが拡大している。浸漬式とくらべ洗浄の過程で温度が下がっていくという点では安定性が悪いので、今後は枚葉式洗浄に適した、高温を必要としない、また個々の洗浄における時間短縮を図れる薬液の開発が重要となる。

いずれにせよ、課題に対して浸漬式と枚葉式のどちらの方式がクリアーしやすいか(パフ

³² 小川 洋輝、堀池 靖浩、「はじめての半導体洗浄技術」工業調査会、p187(2002)

³³ 2006年10月11日付け半導体産業新聞「65nm以降に対応した最新の半導体洗浄装置技術」

パフォーマンス重視でいくか生産性重視でいくか)どちらの能力を利用した方がよいかを適材適所見極め、プロセス化を進めることが大切である。生産性がクリアできれば枚葉式が有利と言える。

3. 今後の注目技術について

超臨界流体洗浄は、微細化の進む半導体基板に損傷を与えずに洗浄が可能という点で魅力があり、次世代の洗浄技術として着目されている。但し、現実的に採用するとすると種々の問題がある。例えば、高圧な流体を扱う関係から、耐圧容器などの防爆設備が必要となる。また、圧力・温度制御に高度なシステムが必要となり、コスト負担が大きくなるので、コスト面の課題解決が望まれる。

薬液を使用しないという点で環境面から評価の高い極低温エアロゾルを使用した洗浄技術は、ArやN₂を極低温によりアイス状態にして空気と混合し吹き付けるものであり、物理的ショックでパーティクル除去をする技術³⁴であり、今後の使用の拡大が期待されている。

更に高度な洗浄を求められる場合に対応する技術がピンポイントクリーニングである。パーティクルをひとつひとつ狙撃するものであり、ナノテクノロジーを駆使した先端技術と言える。例えばナノピンセットを用いた洗浄は実用化段階を目指した研究³⁵が進められている。

こういった新技術の研究開発により、スループットの向上、コストの低減、環境への配慮といった問題へ対処することが期待されている。

4. 産業競争力の展望について

洗浄・乾燥装置の世界市場は、大日本スクリーン製造、東京エレクトロンの2社で約半数を占めている。国内市場においても、同2社で約60%のシェアを誇っており日本企業が市場において強みを発揮している。(2004年実績)。

2社とも、浸漬式、枚葉式どちらの洗浄装置も生産しているが、世界、日本市場ともに3位につけているSEZ(オーストリア)は、枚葉式洗浄装置に特化している装置メーカーである。現在、スループットの向上が技術課題となっている枚葉式洗浄ではあるが、近年、浸漬式から枚葉式への移行が加速されており、枚葉洗浄に特化しているSEZが市場を伸ばしつつある。

5. 技術競争力の展望

大日本スクリーン製造、東京エレクトロンに代表される日本の洗浄装置メーカーの技術開発力は現在でも世界のトップクラスにある。しかし、韓国のSamsung Electronics, Hynix Semiconductorや、台湾のTaiwan Semiconductor Manufacturing Corp.(TSMC)といったアジア各国の有力企業も技術力を付けており、今後の動向は着目する必要がある。また、韓国、台湾は国家政策として公的研究機関と連携した技術開発を強力に推し進めているし、各国の主要企業は、中国の巨大なマーケットを押さえるための技術開発に凌ぎを削っている。

³⁴ 岡本彰他、「超低温窒素エアロゾルによる微細中空構造の洗浄」、第50回(2003年春季)応用物理学会予稿集、p841

³⁵ 逢坂他、「ナノピンセットを用いたシリコンウエーハ表面の局所クリーニング」、第52回(2005年春季)応用物理学会予稿集、p880

こうした中で、いつまでも日本の技術力を世界にアピールできるとは考えられない。ヨーロッパでは、IMEC(ベルギー)や LETI(フランス)を中心とした技術開発推進体制があり、米国においては、SEMATECH(テキサス州、ニューヨーク州)、アルバニー NanoTech(ニューヨーク州)等の研究拠点を設立し優秀な研究者を集めている。こうした世界の動きの中で、日本においてはすでに進行している MIRAI プロジェクト等に代表される官民合同のコンソーシアムをさらに強力に推し進めることが必要となる。それには、中心的な役割を担う企業と支援する公的研究機関の協力体制を強力に構築していく必要があり、各企業、各研究機関の役割分担を明確にする必要がある。

第2節 我が国の半導体洗浄技術の国際競争力の強化に向けた提言

提言 1

現状において、我が国の企業・研究者は、ウェット洗浄技術を主流に研究開発を進め、競争力優位のポジションにいる。この位置を強固なものとするために、半導体の微細化に対してウェット洗浄における技術課題を克服する研究開発を進める必要がある。

加えて、欧米や韓国・台湾の企業等は、ドライ洗浄技術、及び、物理的洗浄技術に関する研究も進めており、このようなテーマにおいての研究開発の推進と研究者の育成を図ることが、我が国の半導体洗浄技術の国際競争力維持に繋がる。

日本の企業はウェット洗浄技術を主流に研究開発を進め、今日の競争優位性を獲得している(図 2-6 参照)。しかしながら、半導体の微細化が進むことにより、現状のウェット洗浄技術で対応が困難となる場面が今後顕著となる。特に水の表面張力の問題の解決は急務といえる。

一方、韓国・台湾・米国の企業は、ウェット洗浄技術と同等かそれ以上にドライ洗浄技術やその他の洗浄技術(物理的手段など)にも開発に力を入れており(図 2-6 参照)、日本としても、この部分の研究開発を疎かにはできない。

「微細構造への対応」という今後避けられない課題に対して、現状のウェット洗浄技術だけではなく、ドライ洗浄、物理的洗浄でも競争力を発揮できることが望ましい。

ドライ洗浄技術の進展は、「何がウエハの何処に」を明確にする計測技術を確立し、効果的に汚染物質を基板から浮上させ、基板への損傷を防止する技術を開発できれば、現状の主流といえるウェット洗浄から大きな転換をもたらす可能性もある。我が国企業の一部では、大気圧付近でのドライ洗浄を実用化しており、今後の更なる研究の推進が期待される。

特許分析からみて、ウェット洗浄技術に研究開発が注力されており更に本洗浄技術を発展させることは言うまでもないが、リスク分散の観点からも、ドライ洗浄技術および物理的洗浄技術についても研究開発を推進することを提言する。

論文解析の結果から、ウェット洗浄に関する研究が中心に展開されていることが伺える。(図 3-7 および図 3-8 参照) 我が国においては、特にウェット洗浄技術について、1970 年に原点を持つ RCA 洗浄技術に更に改良を加える研究が 1990 年頃より東北大学の UCT 研究グループにおいて積極的に進められ、多くの論文が他に引用されており、我が国研究者のレベルの高さが伺える。

また、1990 年代には、機能水の研究開発も純水装置技術を持つ企業及び公的研究機関の連

携で開発が進められ数多く引用されている論文もある。

物理的洗浄においては、スクラブ洗浄、極低温エアロゾルに関する研究が外国で進められていることが論文の引用解析から把握される。

一方、ドライ洗浄技術についての重要論文の変遷をみると、日本の研究者の論文も引用されているが、プラズマ洗浄技術については、韓国研究者の論文がより多く引用されている。物理的洗浄にいたっては日本の研究者の論文で多く引用されているものはなかった。

以上より、論文解析からみても、我が国の洗浄技術の開発の主流はウェット洗浄技術であり、ドライ、物理的洗浄の研究者の層は、ウェット洗浄技術に比して薄いとみられる。

ドライ洗浄技術は、現在の主流であるウェット洗浄では洗浄できない汚染物質の除去や、半導体の微細構造部分の洗浄といった点において効果があると言われ、ウェット洗浄を補完する重要な役割も担っている。従って、ウェット洗浄技術だけでなく、ドライ洗浄、物理的洗浄の研究開発の推進及び研究者の育成にも力を入れるよう提言する。

提言 2

我が国の企業および研究者において、今後市場ニーズが高まると思われる枚葉式洗浄技術の研究推進が課題となる。特に洗浄時間を短縮するために、枚葉式洗浄に適した薬液や手法を開発することが急務といえる。

枚葉式洗浄技術の課題の一つといえる「スループットの向上」に対しては、マルチチャンパーの導入、搬送システムの高速化、スムーズな薬液交換の推進等の方法で対応を図っており、今後は、個々の半導体の洗浄において「洗浄時間の短縮」を実現する枚葉式洗浄に適した薬液や手法を開発することが重要となる。また、これらの研究を進める上では、環境の面から廃液処理にも配慮した環境にやさしい洗浄技術を確立しなければならない。

提言 3

- ・計測・評価技術の向上
- ・クロスコンタミネーションの防止に繋がる研究開発の更なる推進
- ・半導体の新材料に対応した新たな洗浄方式の研究開発の推進
- ・超臨界流体洗浄の公的研究の推進
- ・ナノテクノロジーを用いたピンポイントな洗浄技術の確立

これまで以上に、どのような汚染物質がどの箇所に付着しているのか、また、洗浄処理後に所望の洗浄のレベルに達しているか等を適切、かつ、迅速に把握する計測・評価技術の向上が強く望まれている。

また、注目研究開発テーマの解析(図 2-12 参照)に示されるように、クロスコンタミネーションの防止に関する特許出願も多く、今後もクロスコンタミネーションの問題は避けられない課題といえる。装置自体の構造の改良や、装置の汚染が基板に再付着しないための機体洗浄方法の改良を進めるなど各企業の努力は見られるが、より一層の研究開発を推し進めていくことが必要である。

また、新材料への対応の特許出願、論文(図 2-12 および図 3-11 参照)が増加しているこ

とも現れているが、例えば、服部の「半導体製造における洗浄技術の最新動向」³⁶には、デバイス性能向上のために、これまでは重大な汚染源として避けられてきた材料が採用される状況にあり、配線金属の材質に起因する配線抵抗(R)と層間絶縁膜の材質に起因する配線間容量(C)によるCR遅延時間の増大の問題を解決するために、従来のAl配線からCu配線へ置き換わったことや、ゲート絶縁膜として長年にわたり採用されてきたSiO₂の薄膜化により顕在化しているトンネルリーク電流の問題解決のために、Hf,Zr,La,Alなどの酸化物およびこれらのアルミケート、シリケート、窒素ドーブ膜を中心とした絶縁材料の適応の研究が進められていることが指摘されており、これまでは採用されていなかった元素の導入が進むと推測され、各種の新材料に対応した洗浄液の確立や、洗浄方法の研究開発に力を入れ、日本がこの分野でイニシアティブを取ることが必要である。それには、企業が大学や研究機関との連携を図り、基礎研究も含めて効率のよい技術開発を進めることが必要である。

また次世代の革新的な洗浄技術の一つとして期待されている超臨界流体洗浄は、微細化の進む半導体基板に損傷を与えることなく洗浄が可能という点で魅力的なものであるが、研究開発投資の面から一般メーカーにおいてはリスクが大きいため、コスト面での課題解決が期待される。

さらに、高洗浄化を突き詰めていった究極な手段として、今回の特許解析では出願がわずかではあったが、ナノピンセットを用いた洗浄方法が見られた。これはナノテクノロジーを得意とする日本の強みである。ウェット洗浄、ドライ洗浄に分類すれば、ドライ洗浄の一つに入るのかもしれないが、一般のドライ洗浄とは全く異なる、ナノピンセットに代表されるような先端技術の研究開発についても、上述の超臨界流体洗浄と同様に、さらに技術の向上を目指し、ナノテクノロジー分野で実績のある企業や大学・研究機関と共に共同した研究開発を進めていくことが必要である。

³⁶ クリーンテクノロジー「半導体プロセスにおける洗浄管理 半導体製造における洗浄技術の最新動向」服部 p7-10 (2003.9)