

最先端のものづくりを支える日本の半導体製造装置産業 ～課題と展望～

1. 半導体製造装置販売の半分近くが韓国・台湾市場向けに

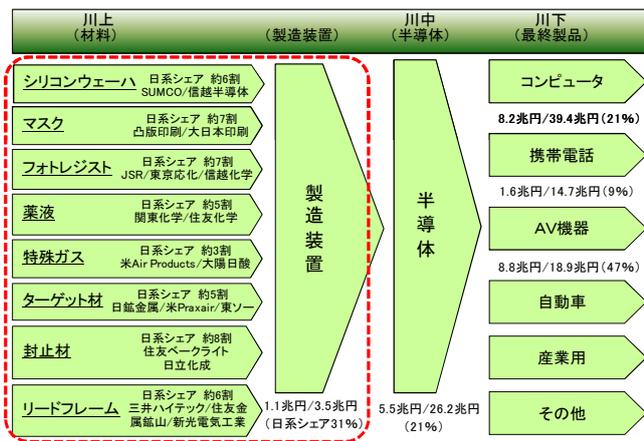
・パソコンやデジタル家電、スマートフォンなど最終機器の製造において日系電機メーカーが苦戦する中で、日系半導体メーカーの世界シェアも長期下落傾向が続いており、1988年のピーク時の51%から2011年には18%まで低下した。一方、半導体製造装置で日本勢の世界シェアは30%台を維持し、シリコンウェーハ、マスク、フォトレジストや封止材といった主要材料では6～8割前後の圧倒的なシェアを有する。このように、半導体のグローバルサプライチェーンにおいて日系の製造装置・材料メーカーは重要な役割を果たしている（図表1-1、図表1-2）。

・1990年代前半に100億ドル前後だった世界の半導体製造装置市場は、半導体需要の増加につれて97年に300億ドル弱に拡大し、98年はDRAM市況の低迷で落ち込んだが、2000年に史上最高となる477億ドルに達した。ITバブル崩壊による落ち込みを経て、04～07年にかけてデジタル家電の需要拡大などで再び400億ドル前後に回復し、リーマンショックによる減少を経て、11年には435億ドルまで盛り返している（図表1-3）。

・11年の世界販売額を地域別にみると、首位は北米の93億ドル、2位は韓国の87億ドルで、以下、台湾85億ドル、日本58億ドル、欧州42億ドル、中国36億ドルと続く。世界の半導体市場において米系やアジア系メーカーのシェアが高まるにつれて、半導体製造装置の地域別販売額も、96年までは日本が首位であったが、97年に北米にその座を奪われ、03年以降は韓国と台湾を合わせた市場規模が世界最大となっている。10年には韓国と台湾での販売額が装置販売全体の49%を占めており、製造装置メーカーとしては、国内だけでなく、アジアや欧米に軸足を置いたマーケティング戦略が一段と重要になっている。

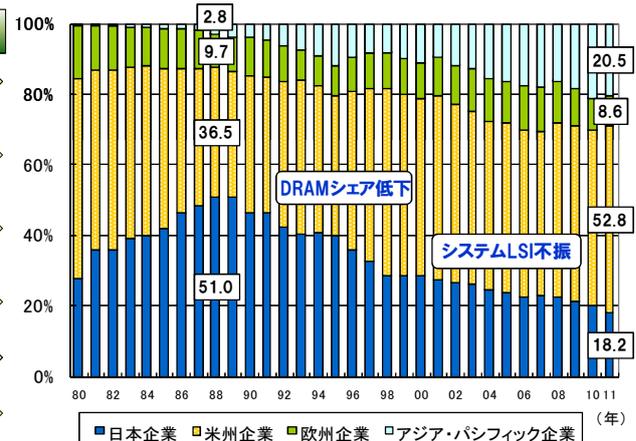
・半導体製造装置市場のボラティリティは半導体市場と比べて非常に大きいのが特徴である。リーマンショック直前のピークである07年と09年を比較すると、半導体市場が11%減だったのに対し、製造装置市場は63%減と大きく落ち込んだ（図表1-4、1-5）。これは、好況期に向けて投資が集中する一方で不況期には一気に投資が抑制されるという半導体業界特有の投資パターンを反映しているものと考えられる。製造装置メーカーとしては、好況期の需要に応えるための生産体制を構築しつつ、不況期を乗り切るための経営体力をいかに確保するかが課題である。

図表1-1 半導体のサプライチェーンにおける主要製品毎の日系企業世界シェア



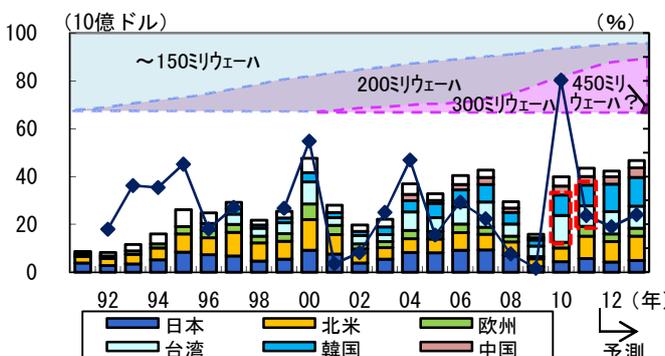
(備考) 電子ジャーナル「半導体材料データブック2008」、日本半導体製造装置協会「半導体・FPD製造装置販売統計2010年版」、電子情報技術産業協会「電子情報産業の世界生産見通し2010」により日本政策投資銀行作成

図表1-2 世界半導体市場における地域別企業シェアの推移



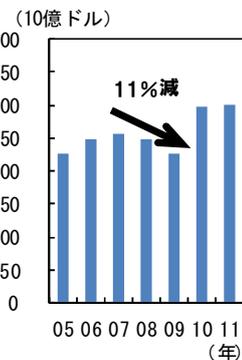
(備考) ガートナー 'Market Share: Semiconductor Applications, Worldwide, 2011' (2012年3月27日)、2009年以前は過去の同レポートを基に日本政策投資銀行にてグラフを作成

図表1-3 地域別にみた世界の半導体製造装置販売額推移



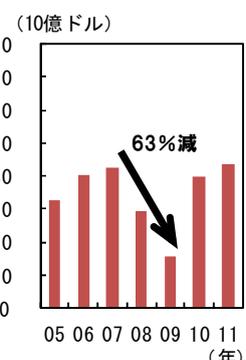
(備考) 1. SEAJ、SEMI、SEMIジャパンにより作成
2. 韓国は96年、台湾は97年、中国は04年より内訳を記載。91年～97年は年度の数値

図表1-4 半導体世界市場の推移



(備考) 半導体はWSTS、半導体製造装置はSEAJ、SEMI、SEMIジャパンにより作成

図表1-5 半導体製造装置世界市場の推移



2. 日系半導体製造装置メーカーの国際競争力

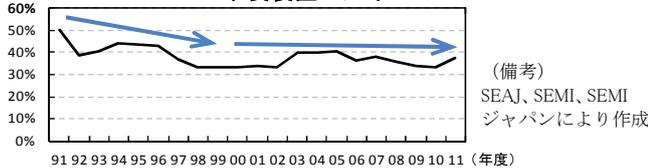
・日系半導体製造装置メーカーは1990年代初めに50%近い世界シェアを有していた(図表2-1)。しかし、①日系半導体メーカーのシェアが低下して米系メーカーに逆転された(図表1-2)ことに加え、②米国で87年にSEMATECHが設立され、製造装置産業の強化が図られたこともあり、米系装置メーカーにシェアを奪われる展開となった。しかし、2000年代に入ると日系装置メーカーの世界シェアは30%台で下げ止まっており、ガートナーによると11年時点では日系35%に対し、米系38%、欧州系20%となっている(図表3-2)。

・半導体は、前工程でシリコンウェーハの表面加工処理を行い、後工程でチップに切り離してパッケージに封入し、検査工程を経て出荷される。製造装置には①解像度や精度などの性能、②単位時間当たりの処理能力であるスループット、③歩留まりにおいて高度な水準が要求されるため、装置ごとに独自の強みを有する専門型メーカーが多いのが特徴である。①ウェーハ上に絶縁膜や導電材の薄膜を形成する成膜装置、②光で回路パターンを焼き付ける露光装置(ステッパ)、③薄膜を削って回路を刻むエッチングの3つの装置の市場規模が大きい。それ以外にも様々な工程が存在し、必要とされる製造装置も多岐にわたる。日系メーカーは、後工程とテスト検査装置で優位性を持ち、前工程ではエッチング・洗浄装置やコーティング装置、自動搬送システムなどで強みを有するが、露光装置では蘭ASML、成膜装置では米アプライド・マテリアルズ(AMAT)をはじめとする欧米勢の先行を許しており、装置毎に競争力の強弱がみられる(図表2-2)。

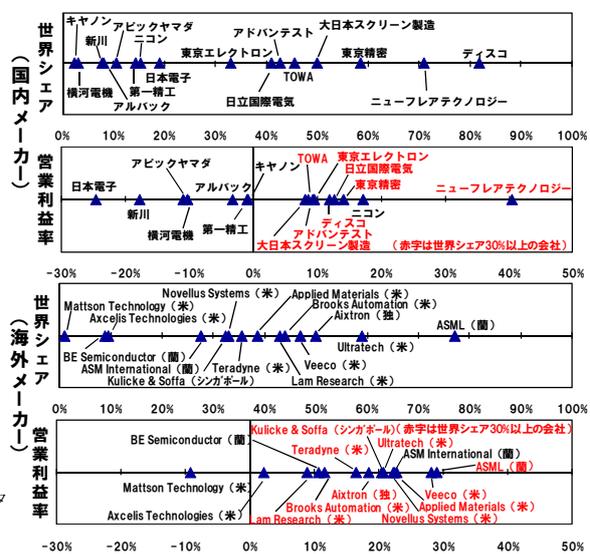
・マスク描画装置のニューフレアテクノロジー、露光装置のASML、化合物半導体やLED向け有機金属成膜装置(MOCVD)の米Veecoや独Aixtron、先端パッケージング露光装置の米Ultratechなど、特定分野でトップシェアを有する専門型メーカーは総じて高い利益率を達成している(図表2-3)。一方、二番手以下のメーカーは利益面で相対的に厳しい状況にあり、横河電機はメモリテスト事業を韓国企業に譲渡した上で検査装置事業から撤退し、日本電子も多額の研究開発費の投入が必要な半導体関連装置事業から電子顕微鏡事業等のコア事業へ経営資源をシフトする方針である。また、1社で幅広い装置を手がけ、半導体製造のトータルソリューションを提供するAMATや東京エレクトロンのような総合型メーカーも高い利益率を確保している。

・日系メーカーの世界シェア下げ止まりの背景には、海外向け売上の拡大(図表2-4)に加えて、研究開発の強化が挙げられる。売上高に占める研究開発費の比率を比較すると、日系メーカーは90年代後半には一桁前半にとどまっていたが、2000年代に入り10%弱へと上昇傾向にある(図表2-5)。しかし、海外の有カメーカーは収益力の高さを背景に日系メーカーを上回る高水準の研究開発費を投入し続けている。日系装置メーカーが中長期的に競争力を強化するためには、目先の利益の増減にかかわらず安定的な研究開発費を投入し続けるとともに、他社との提携や共同開発など外部リソースの活用に活路を見出すことが不可欠である。

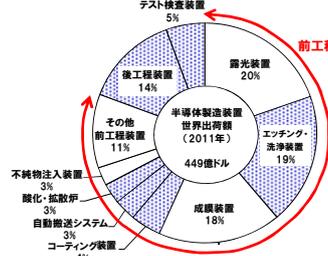
図表2-1 世界の半導体製造装置販売高に占める日本製装置の比率



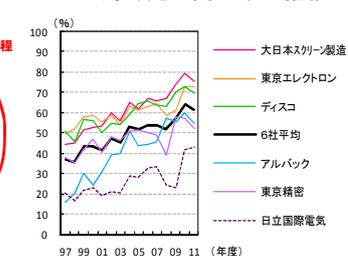
図表2-3 主要半導体製造装置メーカーの主力製品世界シェアと営業利益率(2011年)



図表2-2 半導体製造装置世界販売額の主要装置別内訳

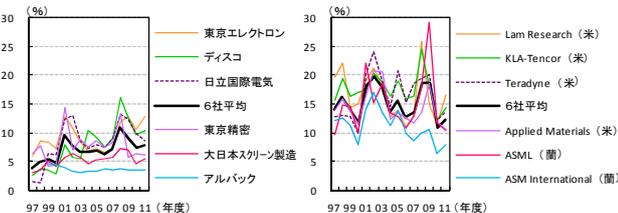


図表2-4 半導体製造装置メーカーの海外売上高比率の推移



- (備考) 1. ガートナー 'Forecast: Semiconductor Manufacturing Equipment, Worldwide, 2Q12 Update' (2012年6月13日)のデータを基に日本政策投資銀行にてグラフを作成
2. 網掛けは日系メーカー合計で4割以上の世界シェアを有する装置

図表2-5 半導体製造装置メーカーの売上高対研究開発費比率の推移



(備考) SPEEDA、各社IR資料等のデータを基に日本政策投資銀行作成

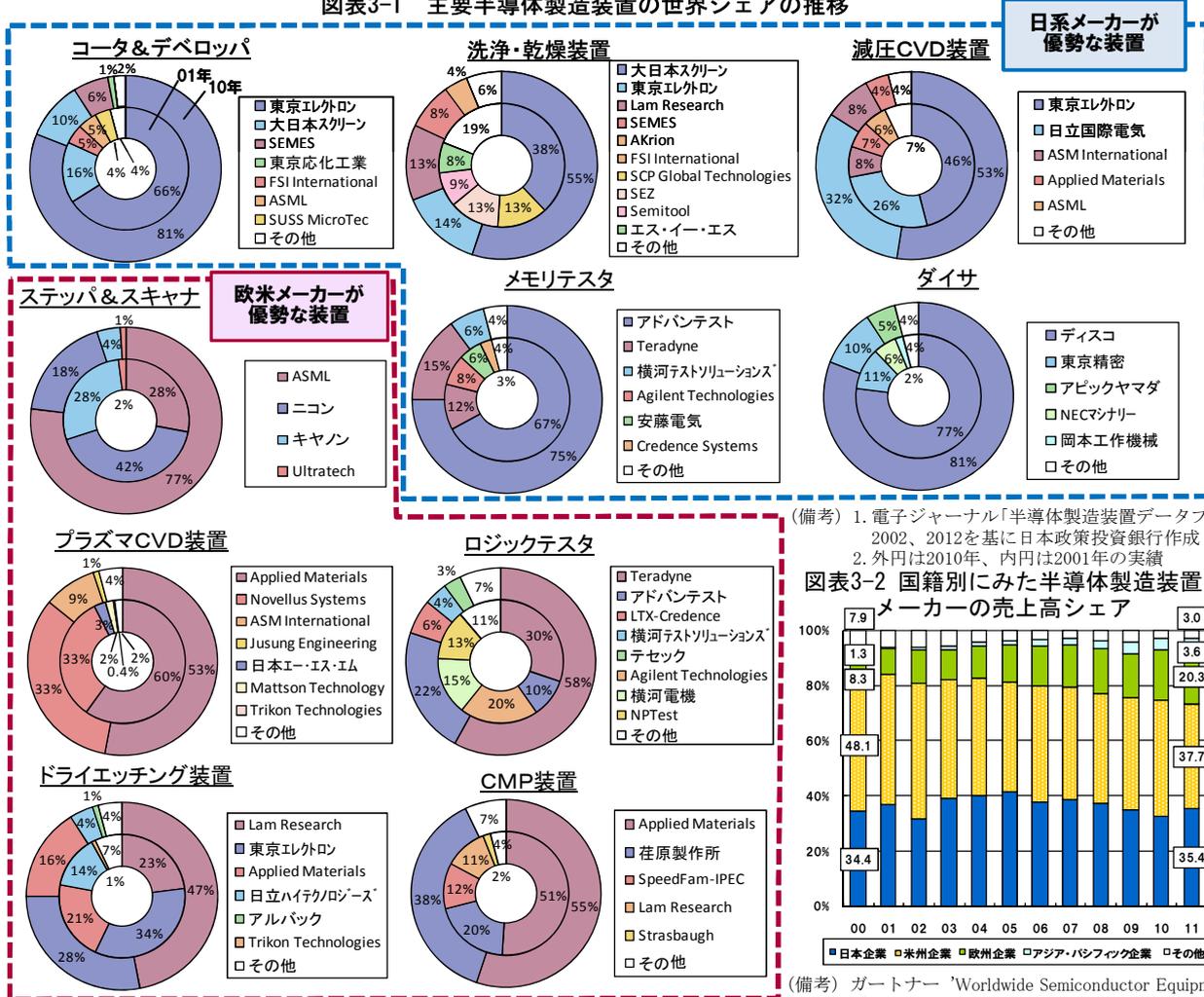
(注1) 日本企業はアルバック(6月期)、キャノン・第一精工(12月期)を除き3月期決算。海外企業はLam Research(6月期)、Brooks Automation・Kulicke & Soffa(9月期)、Applied Materials(10月期)を除き12月期決算
(注2) 日本電子は産業機器事業、大日本スクリーン製造は半導体機器事業、日立国際電気はエッチング・コーティング、キャノン・アキソンは産業機器、第一精工は設備事業、アドバンテックは半導体部品テストシステム事業、横河電機は計測機器事業、東京精密は半導体製造装置事業の利益率
(注3) 各社の世界シェアは以下の製造装置のシェア：キャノン・スクリーン製造：洗浄装置、Applied Materials：成膜装置、日立国際電気：低圧CVD装置、Novellus Systems：プラズマCVD、Veeco：Aixtron：Metalorganic CVD、アルバック：スパッタリング、キャノン・キャノン・ASML：露光装置、Ultratech：先端パッケージング露光装置、東京エレクトロニクス・Lam Research：エッチング装置、Axcelis Technologies：不純物注入装置、Brooks Automation：ウェーハ搬送システム、ディスコ：ダイシングソー、新川・Kulicke & Soffa：ASM International・BE Semiconductor：ボンディング、TOWA・第一精工・アビックヤマダ：モルディング、アドバンテック・横河電機・Teradyne：検査装置、東京精密：プローバ

(備考) 各社主力製品の世界市場シェアはガートナー 'Market Share: Semiconductor Manufacturing Equipment, Worldwide, 2011' (2012年3月30日) から抜粋、営業利益率はSPEEDA、各社IR資料を基に日本政策投資銀行作成

3. 寡占化の進展 ～半導体製造装置別にみた世界シェアの推移～

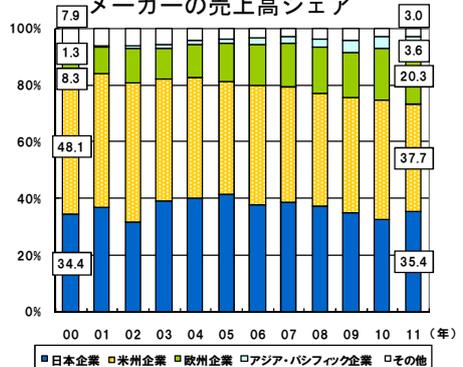
- ・半導体製造装置の世界シェアを01年と10年の2時点間で比較すると、露光装置において日系メーカーがシェアを大きく下げる一方、洗浄装置、現像装置（コータ&デベロッパ）や切断装置（ダイサ）では日系メーカーが圧倒的な地位を確立するなど、いくつかの装置で大きな変動がみられる（図表3-1）。
- ・露光装置では、01年にトップシェアだったニコンの世界シェアが42%から18%に半減し、キヤノンのシェアも28%から4%に縮小する一方、ASMLのシェアが28%から77%へ拡大し、業界首位の地位を確立するに至った。ASMLは独カールツァイスの光学技術や蘭フィリップスのステージ技術をモジュールとして作り込み、先端プロセス向け液浸露光装置で世界最高水準のスループットをいち早く実現し、韓国や台湾向けを中心に急成長を遂げた。
- ・一方、洗浄装置では大日本スクリーンの世界シェアが38%から55%へ、コータ&デベロッパでは東京エレクトロンのシェアが66%から81%へ上昇しており、後工程でもダイサでディスコのシェアが77%から81%に達している。各社とも得意とするコア技術を深耕することにより、圧倒的な地位を築くことに成功している。
- ・また、AMATはプラズマCVD装置や化学的機械研磨などで世界首位のほか、エッチング装置など幅広い装置を手がけており、総合装置メーカーとしてあらゆる装置をパッケージにして売り込める点が強みである。
- ・このように半導体製造装置業界で寡占化が進展する背景には、研究開発負担の増嵩に加えて、事業規模や製品ラインナップの拡大を目的とする買収が相次いでいることもある。11年にはプラズマCVDを得意とする米Novellus Systemsをエッチング大手の米Lam Researchが買収し、成膜とエッチングの一体的開発により、最大手のAMATを追い上げる方針である。また、メモリテストで世界首位のアドバンテストは、米Verigyを買収し、ロジックテスト市場でもシェア拡大を目指している。
- ・半導体製造装置では今のところ日本、米国、欧州系企業が世界市場の9割超を占めており、韓国をはじめとするアジア勢のシェアは近年やや上昇したものの3-4%程度にとどまっている（図表3-2）。韓国では、洗浄装置などを手がけるSEMESのほか、Jusung Engineeringが半導体成膜装置に加えてLCD向け成膜装置や太陽電池セル事業に注力している。サムスン電子が世界第2位の半導体メーカーに成長する中で、韓国政府も半導体産業における製造装置や材料の国産化に注力しており、今後の韓国系装置メーカーの動向には留意する必要がある。

図表3-1 主要半導体製造装置の世界シェアの推移



(備考) 1. 電子ジャーナル「半導体製造装置データブック」2002、2012を基に日本政策投資銀行作成
2. 外円は2010年、内円は2001年の実績

図表3-2 国籍別にみた半導体製造装置メーカーの売上高シェア



(備考) ガートナー 'Worldwide Semiconductor Equipment' のデータを基に日本政策投資銀行にてグラフを作成

4. 特許データからみた日本の半導体製造装置メーカーの技術力

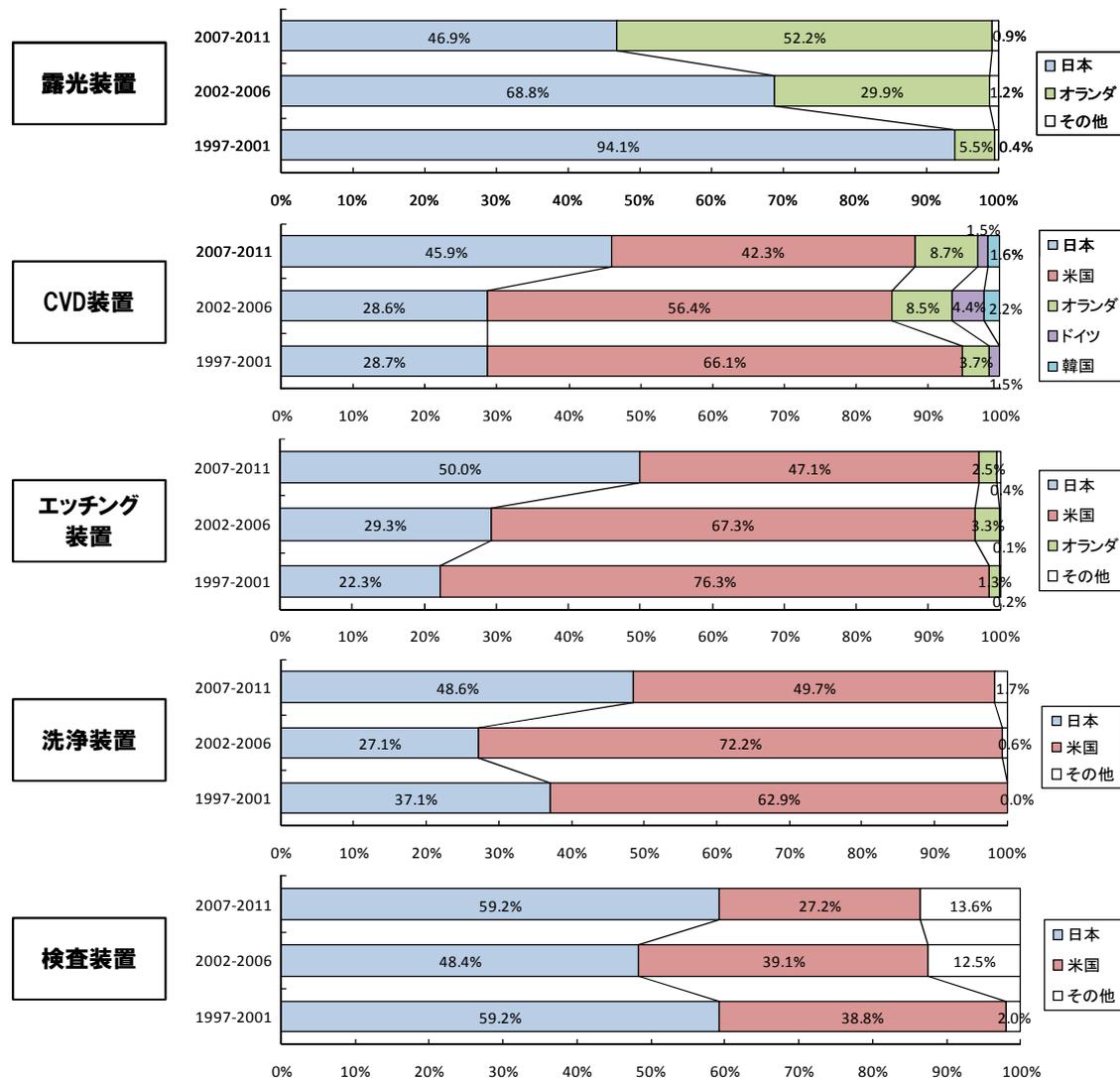
・日系半導体製造装置メーカーの技術力を定量的に推し量るため、ここでは特許データに着目する。世界の半導体製造装置メーカーによる米国での年別登録特許件数を主要装置毎に時系列で分析すると、①日本・米国・欧州系メーカーの登録特許件数シェアは装置毎に大きく異なること、②登録特許件数シェアと世界市場シェアの増減には関連がみられること、③欧米系メーカーが世界シェアで優勢な装置の中にも日系が登録特許件数シェアで巻き返しつつあるものが存在することがわかる（図表4-1）。

・露光装置では、2000年頃から蘭系メーカーが特許出願・登録を本格化させ、蘭系による登録特許件数の比率は、02-06年の30%から07-11年には52%まで上昇し、日系を上回るに至った。この間、日系の露光装置世界シェアは大幅に低下しており、先端技術をめぐる開発競争の激化が特許データからもうかがわれる。ただし、保有特許件数では依然として日系メーカーが優位にあることから、日本勢には、これまで培ってきた技術の蓄積を生かしながら、顧客ニーズに合わせた製品開発を強化することが期待される。

・CVD装置では90年代後半から2000年代半ばまで米系メーカーの登録特許件数が多かったが、09年頃より日系による登録特許件数が急増し、足元では日系が米系を上回る水準にある。エッチング装置でも日系が近年急速に登録特許件数を増やしており、今後、これら技術開発の成果を製造装置に迅速に落とし込み、日系メーカーがどこまで米系を追い上げられるかが注目される。

・一方、検査装置では日系メーカーが登録特許件数、世界シェアともに圧倒的な強みを有しており、洗浄装置でも登録特許件数シェアは米系とほぼ肩を並べる水準にまで上昇している。これらの装置で日系メーカーが世界市場で優位性を維持していくためには、各社がこれまで以上に研究開発と知財戦略に注力し、技術面で海外勢に先行し続けることが不可欠である。

図表4-1 半導体製造装置メーカーによる米国での年別登録特許件数の国籍別シェアの推移（本社所在地ベース）



(備考) エヌユー知財フィナンシャルサービス(株)提供データより作成

5. 次世代半導体製造技術 ～課題と装置メーカーの対応～

- ・次世代の半導体製造技術を確立するにあたり、製造装置業界としては、①10nm台の微細化、②シリコンウェーハの大口径化、③3D/TSVへの対応が重点的に取り組むべき課題である。
- ・2011年版国際半導体技術ロードマップ（ITRS2011）によると、フラッシュメモリのハーフピッチは11年の22nmから13年に18nmまで微細化し、20nmを切る時期が2010年版よりも1年前倒しされた（図表5-1）。MPU/ASICでも11年の38nmから15年には21nmまで微細化する見通しであり、10nm台に対応可能な製造装置の開発が急務となっている。
- ・10nm台への微細化でボトルネックとなっているのが露光装置である（図表5-2）。露光装置はマスクの回路パターンの転写にArF（フッ化アルゴン）レーザーを用いているが、04年頃に45nm以降の微細化への対応が困難となり、投影レンズとウェーハの間に液体（純水）を浸して光の屈折率を変える「液浸露光」が導入された。さらに10年頃からは、2枚のマスクをずらしながら1枚のウェーハに2回露光し、互い違いに回路を重ねることで2倍の微細度を実現する「ダブルパターニング」により延命が図られてきた。しかし、マスク枚数と露光回数増加によるスループットの低下とコストの上昇が課題となっている。
- ・そこで露光装置メーカーは波長の短い極紫外線（EUV）露光の開発を進めているが、①光源出力の不足、②レジストの特性改善などが技術面でのネックとなっており、装置価格も高額なことから、量産ラインでの採用が遅れている。
- ・シリコンウェーハはこれまで約10年毎に大口径化してきた。300ミリへの移行が始まった01年頃からすでに10年以上が経過し、さらなる生産効率の向上とコストダウンを図るため、450ミリウェーハの導入が検討されている。米SEMATECHが06年に立ち上げた450ミリコンソーシアムには、米Entegris（FOUP）、蘭ASM（プラズマCVD）、韓国EugeneTechnology（低圧CVD）に加え、日本からはSUMCO（ウェーハ）、村田機械（ストック）、日立ハイテック（検査装置）などが参画している。また、11年にはインテル、IBM、サムスン電子、TSMC、グローバルファウンドリーズの5社が「グローバル450コンソーシアム」（G450C）を設立し、製造装置メーカーと協業しながら450ミリ対応の製造装置やウェーハの開発を進めている。G450Cは、台湾で9月上旬に開催されたSEMICON Taiwan 2012において開発ロードマップを示し、15年頃までに主要な製造装置とウェーハの量産対応を完了させ、露光装置についても現行の目標時期（18年）の前倒しを目指す方針を明らかにした（図表5-3）。450ミリウェーハは変形・振動しやすく、割れやすいため均一な加工が困難で、これらの特性を考慮した製造装置の実用化には業界全体で250億ドルともいわれる巨額の研究開発投資が必要となる。このため、対応可能な装置メーカーは資金力のある大手に絞り込まれる可能性がある（図表5-4）。
- ・二次元での回路線幅の微細化に加えて、チップを三次元に積層してシリコン貫通ビア（TSV:Through Silicon Via）で配線し、大容量のデータを効率よく高速伝送する3D半導体も、高集積化を実現する技術として注目される。深い穴に均一に成膜する装置や三次元パッケージング装置などの開発が進められている（図表5-5）。

図表5-1 2011年版国際半導体技術ロードマップ

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
フラッシュメモリ ハーフピッチ (nm)	22	20	18	17	15	14.2	13.0	11.9	10.9	10.0
DRAM ハーフピッチ (nm)	36	32	28	25	23	20.0	17.9	15.9	14.2	12.6
MPU/ASIC Metal 1 ハーフピッチ (nm)	38	32	27	24	21	18.9	16.9	15.0	13.4	11.9

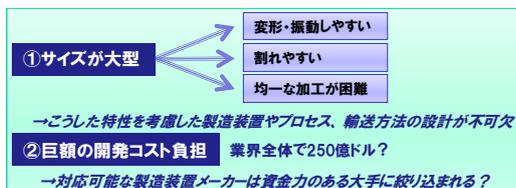
(備考) ITRS2011

図表5-3 'Global 450 Consortiumの概要



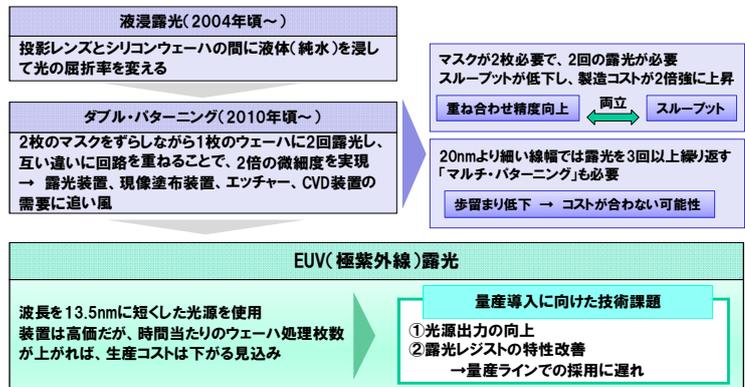
(備考) G450Cの資料をもとに日本政策投資銀行作成

図表5-4 450ミリシリコンウェーハの特徴



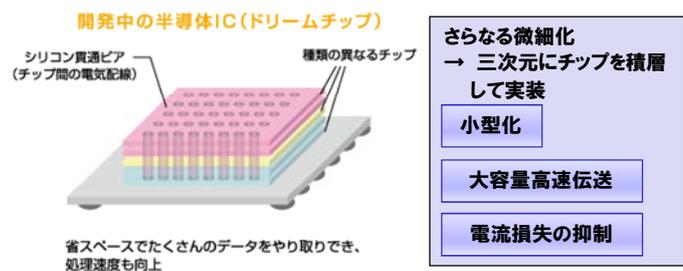
(備考) 日本政策投資銀行作成

図表5-2 液浸ダブルパターニング露光とEUV露光



(備考) 日本政策投資銀行作成

図表5-5 TSV技術による3D半導体



(備考) NEDO資料などにより作成

6. 巨額の研究開発投資の負担をめぐる製造装置業界の対応と日系メーカーの方向性

・150ミリから200ミリウェーハへの移行が進んだ1990年代に、製造装置の世界市場は91年の87億ドルから2000年の477億ドルまで5倍以上に拡大し、製造装置メーカーは先行投資を相当程度回収することができた(図表6-1)。しかし、300ミリへの移行が始まった01年以降、市場規模は2000年のピークを越えるには至っておらず、半導体市場が01年から11年にかけてほぼ倍増したのとは対照的な動きとなっている。このため、製造装置メーカーの多くは、300ミリに移行するための投資から十分なリターンを得られておらず、ウェーハの大口径化や微細化により装置の付加価値を高めて開発コストを吸収するという従来のビジネスモデルが成り立ちにくくなっていると受け止めている(図表6-2)。450ミリに移行できる半導体メーカーは上位数社に限られ、当面は300ミリが主力であり続ける可能性が高いことも、製造装置業界が450ミリへの対応に慎重な姿勢を示す要因となっている。このため、半導体メーカーや装置メーカーなどサプライチェーン全体で装置の大型化に必要な投資を分担することが、450ミリ対応装置の開発を促進する上で不可欠となっている。

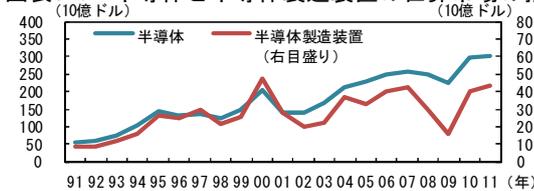
・こうした中で、EUV露光装置の開発で先行するASMLは、12年7月に「顧客共同投資プログラム」を発表し、早期の実用化を求める顧客から最大25%の出資と13.8億ユーロの研究開発資金を受け入れ、450ミリウェーハに対応したEUV露光装置の開発を加速させる方針を打ち出した(図表6-3)。これに対し、インテルは、露光分野への継続的な研究開発は半導体産業の長期的な成長に不可欠として、同社株式の15%を約25億ユーロで取得するとともに、約8億ユーロの研究開発資金を提供することを決めた。これにより、450ミリ対応のEUV露光装置の開発が最大で2年前倒しされると見込まれている。TSMCとサムスン電子も同プログラムに参画する方針で、ASMLは3社から総額約52億ユーロに相当する資金提供を受ける予定である。これにより、停滞していた450ミリ対応製造装置の開発スピードが速まる可能性が出てきた。

・今後は、巨額の開発費を投入して大口径化や微細化をリードできる製造装置メーカー数社がピラミッドの頂点に立ち、これら経営体力のある企業を中心とするグローバルな業界再編により、寡占化が一段と進展する可能性がある。欧米メーカーと比べて、日系装置メーカーではアドバンテストによるVerigy買収を除くと大型のM&Aはほとんど行われてこなかった。日系メーカーとしては、他社や研究機関などとの連携により開発体制を強化するとともに、自社の装置に隣接する部門を取り込んで一体的な装置として提供したり、海外メーカーの要望に合わせた装置開発体制や海外での販売・保守サービスを強化するために、M&Aへの取り組みを積極化する必要がある。

・最先端装置の開発以外でも付加価値の取り込みは可能である(図表6-4)。200ミリ以下の旧世代ラインでもパワー系やアナログIC、イメージセンサ、LED、MEMSなど多くの半導体が生産されており、ASMLでは01年より中古装置ビジネスを開始し、旧世代露光装置の有効活用を図っている。同社では、中古装置のリファービッシュ(修理・改造)を通じて、①既存顧客には装置の価値増加、②他の顧客には割安な価格での装置提供が実現でき、③当社も部品交換や消耗品販売などを通じて利益を得られるとみている。すでに蘭、米、台湾の3カ所にリファービッシュセンターを設置し、総勢265名のエンジニアが中古装置ビジネスに従事している。同社は①Relocation(移設サービスのみ、保証無し)、②Factory Refurb(同社工場でフル・リファービッシュ、新品並みの12ヵ月保証)③Refurb Lite(①と②の中間的サービス、6ヵ月保証)の3メニューを提供し、11年には120件以上のRelocationと30件のリファービッシュを行ったという。今後は国内でも半導体工場の統廃合や大口径化に伴い中古装置の売却が増加する可能性があり、日系メーカーとしても、自社製中古装置の売買やリファービッシュにより付加価値を取り込むことを本格的に検討する余地がある。

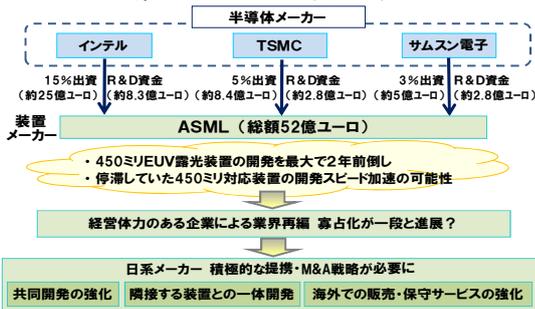
・また、半導体や液晶、太陽電池向け装置だけでは今後の成長に限界があり、半導体製造で培ったものづくりの基盤技術(成膜、洗浄、切削、検査など)を生かして、バイオ、ヘルスケアといった医療機器や産業向けなど異分野への進出に積極的に取り組むことも重要である。

図表6-1 半導体と半導体製造装置の世界市場の推移



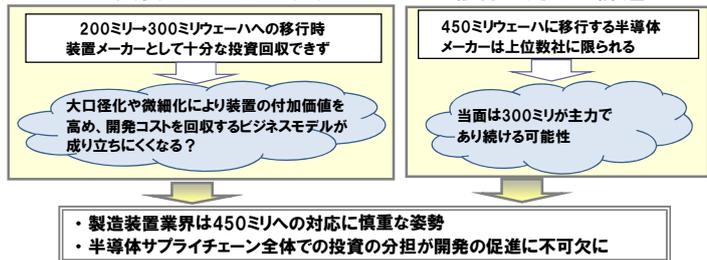
(備考) 1. WSTS、SEAJ、SEMI、SEMIジャパンにより作成
2. 半導体製造装置は右目盛、91年～97年は年度の数値

図表6-3 ASMLの顧客共同投資プログラムと日系メーカーへのインパクト

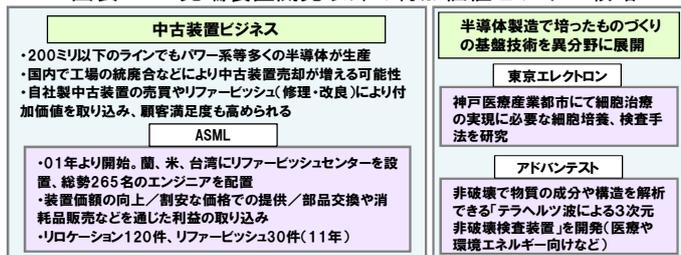


(備考) 日本政策投資銀行作成

図表6-2 450ミリウェーハへの移行に向けた課題



図表6-4 先端装置開発以外の付加価値ビジネス戦略



[産業調査部 清水 誠]

- ・本資料は、著作物であり、著作権法に基づき保護されています。著作権法の定めに従い、引用する際は、必ず出所：日本政策投資銀行と明記して下さい。
- ・本資料の全文または一部を転載・複製する際は著作権者の許諾が必要ですので、当行までご連絡下さい。

お問い合わせ先 株式会社日本政策投資銀行 産業調査部

Tel: 03-3244-1840

E-mail: report@dbj.jp