

論 説

半導体製造装置産業の現状分析

肥 塚 浩

目 次

1. はじめに
2. 半導体製造装置産業の発展
3. 半導体製造装置市場の現状
4. 半導体製造装置市場における企業間競争
5. おわりに

1. はじめに

半導体製造装置産業の動向を論じる際に、ユーザーである半導体産業がどのように変化しているのかと関連づけながら検討することはたいへん重要である。半導体製造装置企業は、半導体企業に製品を納入するのだが、半導体企業の技術イノベーションの動向を見据えた製品を提供し続けることが求められている。半導体製品と半導体生産工程のいずれにおいても技術イノベーションの速度が速く、その急速な変化に常に対応しながら、売上と利益を上げることが半導体製造装置企業に求められている¹⁾。

半導体産業では、マイクロプロセッサ市場で 20 年以上にわたって市場シェア首位を継続しているインテルと、DRAM 市場で 15 年以上にわたって市場シェア首位を継続している三星電子が、10 年以上にわたって半導体売上高上位 2 社を占め続けているが、同時に半導体産業では激しい企業間競争が継続している。日本企業は 90 年代はじめに世界の半導体産業で最も存在感があったが、90 年代以降はその地位を低下させつづけた。米国企業が 90 年代に再び世界市場で 40% 以上のシェアを占めるようになり、韓国企業が 90 年代、台湾企業が 2000 年代に躍進を遂げた。欧州企業も 90 年代以降に一定の復活を遂げ、今や日本企業の世界半導体市場シェアは 20% 台まで落ちた。日本と米国が圧倒的であった時代から大きく変化したのである。1990 年代以降に生じたもう一つの大きな変化は、半導体生産の地域的分布である。端的に述べると、新規の半導体工場や半導体生産ラインは先進国中心から新興国中心に大きく変化し、生産という視点で見ると、半導体産業は先進国中心から新興国中心に大きく変化しつつある²⁾。

これに対して、半導体製造装置産業は、現時点においても、米国企業と日本企業がもっぱら世界の半導体企業に製造装置を供給し続けている。日本企業と米国企業の地位の再逆転がここでも見られたが、半導体企業ほどの米日差は生じていない。半導体製造装置の技術イノベーショ

1) 肥塚浩 [1996] 151 ~ 172 ページ。

2) 肥塚浩 [2010]

ンは、半導体生産工程に独自の技能の必要性を大きく減じる製品を 1990 年代に登場させ、そのことが世界の半導体企業の競争関係に大きな影響を及ぼした。ユーザーである半導体企業のニーズに大きな影響を受けながら、同時に半導体製造装置技術の動向が、逆に半導体産業に影響を与えている。

このような半導体製造装置の技術動向の恩恵を受けたのは、アジアの半導体産業であり、とりわけ韓国と台湾の半導体産業は、この点を競争力強化の重要な要因の一つとしてきた。外資を中心にしつつも、2000 年代に入って大きく成長している中国半導体産業も同様である。半導体製造装置ビジネスは、アジアの半導体産業を顧客に出来るかどうか企業が競争に大きく影響しているのである。半導体製造装置産業を分析する際には、こうした半導体産業における先進国・地域から新興国・地域へのシフトという側面に注目する必要がある。

本稿では、半導体産業に大きく影響を受けている半導体製造装置産業についての現状分析を行う。具体的には、まず、半導体製造装置産業の歴史的到達点を確認する。次に、半導体製造装置市場の地域・国レベルの市場および装置別市場の特徴を分析する。最後に、半導体製造装置市場における上位企業、主要製品別世界半導体製造装置市場シェア、主要企業における地域別市場シェアを分析し、半導体製造装置市場における企業間競争の一端を明らかにする。

2. 半導体製造装置産業の発展

(1) 半導体製造装置産業の形成

半導体製造装置は、もともと半導体企業が内製していたが、装置を開発・生産する企業が登場し、その集積が産業の形成につながったのである。いうまでもなく、半導体産業は米国において 1950 年代に形成されたわけであり、半導体製造装置産業も米国において形成された。米国においても 1950 年代はトランジスタ時代であり、この頃は半導体企業が装置の製作・補修を手がけていた。それが 1960 年代になると変化し、半導体製造装置企業の設立が相次ぐようになる³⁾。

世界の半導体製造装置産業の規模であるが、ある調査では 1974 年で 6.05 億ドル、1977 年で 8.47 億ドル、1980 年で 20.2 億ドルであった。半導体産業の急速な成長に歩調を合わせて規模が拡大していることが分かる。ところで、1980 年の国・地域別の市場規模は、米国 59%、欧州 29%、日本 19% という数値があり、米国市場が圧倒的に大きいことが分かる⁴⁾。

しかし、この後、日本半導体製造装置企業の競争力が急速に向上していく。1982 年には日本の市場規模が世界全体に占める割合が 29% になっているとの指摘があり、1980 年代前半に急速に日本市場が拡大していることが分かる。1980 年代後半には日本半導体産業の全盛期と

3) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編 [1991] 31～32 ページ。

4) 志村幸雄 [1980] 58～59 ページおよび志村幸雄 [1984] 215 ページ。

なるわけで、この時期に日本半導体製造装置産業も同時に成長を遂げている。1980年代後半には日本半導体産業が全盛期となり、日本半導体製造装置産業も全盛期となった⁵⁾。

その結果、1990年頃の米国半導体製造装置産業は、たいへん厳しい状況を迎えることとなった。典型的なのは、半導体製造装置企業売上高ランキングで1985年まで1位を占めていたパーキンエルマーが1990年には上位10社からも姿を消したことである。米国半導体製造装置企業の世界市場シェアは急速に低下し、1980年頃には圧倒的であったものが、例えば、ICテスターが50%、レジスト処理が30%、ステップが20%のシェアになっている。この頃の米国における半導体製造装置の輸入比率は70%にもなっている。ほとんどの半導体製造装置は米国で独創的に開発され、生産されてきたが、より生産性、信頼性、価格で優位に立ち、カスタム・デザイン対応でユーザーに供給するようになった日本企業に対して、米国企業は競争劣位となったのである⁶⁾。

1990年代になると、今度は米国半導体製造装置産業が競争力を回復し、相対的に日本半導体製造装置産業の競争力が低下していった。日本半導体製造装置産業の微細化への物理限界に対する機能モジュール化対応の遅れ、米国半導体産業の回復やアジア半導体産業の急速な成長に対するアプローチの不足が、米日再逆転の大きい要因である。日米半導体製造装置産業の再逆転は、半導体産業ほど劇的ではなく、現時点において米国半導体製造装置産業の方が優位にあるが、日本半導体製造装置産業も相当程度の競争力を有している⁷⁾。

(2) 日本における半導体製造装置産業の形成

日本においても、半導体製造装置産業の形成は1960年代以降のことである。1950年代後半に半導体産業は形成されていくが、1950年代前半の半導体企業は手作り装置によって半導体を試作しており、1950年代後半以降に、性能的にはるかに優れた米国の半導体製造装置が輸入されるようになる。丸紅、日商岩井、兼松、住友商事といった総合商社が半導体製造装置輸入を行い、半導体企業はこれを使ってトランジスタの大量生産体制を構築していった⁸⁾。

しかし、その後、米国半導体製造装置企業のアフターサービス体制の未整備もあり、日本半導体企業は1社1台のみ購入し、量産ライン用の製造装置は自社ないしその関連企業が国産化する方針をとった。こうした中で、1963年に設立された東京エレクトロンは、機械の据え付け、調整、壊れた場合の修理ができるエンジニアを養成して、輸入半導体製造装置が生産ラインで複数台使用されるようになっていった。そして、輸入半導体製造装置の優位は、国産半

5) 志村幸雄 [1980] 58～59ページおよび志村幸雄 [1984] 211ページ。

6) 志村幸雄 [1992] 108～115ページ。

7) 藤村修三 [2000] 217～235ページ。

8) 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編 [1991] 60～63ページ。

導体製造装置へ急速に切り替わっていく 1970 年代後半まで続くのである⁹⁾。

1960 年代前半から 1970 年代前半にかけて、多くの半導体製造装置の国産化が図られていった。まず、量産型の組立工程の製造装置が 1958 年～63 年頃に、東京精密、海上電機（現カイジョー）、新川などによって国産化された。ウェーハ処理工程の量産型製造装置の国産化は、1965 年以降に東京エレクトロン、日電バリアン（後に日電アネルバ、現キャノンアネルバ）、日本真空技術（現アルバック）、国際電気（現日立国際電気）などによって行われた。東京エレクトロンは商社として米国サムコの拡散炉輸入をしていたが、サムコと合弁会社テル・サムコを設立して拡散炉生産を開始していった。日電バリアンは、日本電気と米国バリアンとの合弁会社として 1967 年に出発し、自動アルミ配線真空蒸着装置やスパッタ装置の開発・生産を行った。日本真空技術は米国エクストリオンと 1974 年にライセンス契約を結んで、イオン注入装置に参入（後に契約終了に伴い、独自路線となる）した。国際電気は、1950 年代から参入を行い、1962 年にエピタキシャル成長装置、63 年に拡散炉、70 年に CVD 装置と次々に国産化に成功していった¹⁰⁾。

1970 年代後半以降には急速に国産半導体製造装置が日本国内で使用されるようになるが、これは日本半導体産業の急速な成長発展と軌を一にしている。その中で、超 LSI 技術研究組合共同研究所（以下、超 LSI 研と略す）が日本の半導体製造装置の競争力強化に大きな役割を果たしたことは周知のことであるが、改めて特筆しておかなければならない。それまでにも通産省の補助金や電電公社の半導体研究開発への参画は半導体製造装置開発に重要な役割を果たしてきたが、1975 年～79 年までに総額 700 億円が投入された超 LSI 研の共同開発は、日本の半導体製造装置の水準を大きく引き上げるようになったのである。例えば、プロジェクトン露光装置にはキャノン、ステップ露光装置にはニコン、枚葉式ドライエッチング装置には日電アネルバが開発に参画している。こうして 1985 年には日本市場の約 70% が日本製半導体製造装置となったのである¹¹⁾。

その後、日本半導体製造装置産業は、世界市場にも積極的に参入し、世界市場で大きなシェアを獲得していくが、1990 年代以降は米国半導体製造装置企業の競争力回復に伴い、その地位は再度逆転する。ただし、上述したように、日本半導体製造装置産業は日本半導体産業ほど劇的に競争力を失っておらず、現在も競争力を有している。

9) 同上、77～78 ページ。

10) 同上、53 ページ、195～196 ページ、224～227 ページ、290～298 ページ。

11) プレスジャーナル社編 [1984]98 ページ：垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編 [1991] 109 ページ、118 ページ：日本電子機械工業会編 [1986] 54 ページ。

(3) 半導体製造装置企業の半導体製造装置売上高ランキングにおける変遷

以上、簡単に世界と日本における半導体製造装置産業の形成過程について述べてきた。こうした産業形成を担っているのは企業であり、どの企業が重要な役割を果たしたのかを見てみる。

表 1 世界半導体製造装置企業上位 10 社の売上高 (単位：100 万ドル)

順位	1979 年		順位	1989 年	
	企業名	売上高		企業名	売上高
1	フェアチャイルド・テスト・システムズG (米)	111	1	東京エレクトロン (日)	634
2	パーキンエルマー (米)	101	2	ニコン (日)	587
3	AMAT (米)	54	3	AMAT (米)	523
4	GCA (米)	54	4	アドバンテスト (日)	399
5	テラダイン (米)	53	5	キャノン (日)	384
6	バリアン (米)	51	6	GS (米)	354
7	テクトロニクス (米)	39	7	バリアン (米)	335
8	イートン (米)	38	8	日立製作所 (日)	210
9	K&S (米)	37	9	テラダイン (米)	200
10	バルザース (西独)	34	10	ASM (米)	187
順位	1999 年		順位	2009 年	
	企業名	売上高		企業名	売上高
1	AMAT (米)	5,457	1	AMAT (米)	3,146
2	東京エレクトロン (日)	2,634	2	ASML (蘭)	2,248
3	ニコン (日)	1,430	3	東京エレクトロン (日)	2,243
4	ASM (米)	1,276	4	ラム・リサーチ (米)	1,512
5	テラダイン (米)	1,210	5	KLA-Tencor (米)	1,152
6	KLA (米)	1,049	6	大日本スクリーン製造 (日)	863
7	アドバンテスト (日)	955	7	ASMI (蘭)	832
8	ラム・リサーチ (米)	894	8	日立ハイテクノロジーズ (日)	716
9	キャノン (日)	751	9	ニコン (日)	701
10	日立製作所 (日)	743	10	ノベラス・システムズ (米)	569

出所) プレスジャーナル社編 [1990]『1990 年度版 日本半導体年鑑』1990 年, 77 ページ, 図 7: 日本電子機械工業会 [1991]『91 IC ガイドブック』92 ページ, 表 1: 藤村修三 [2000]『半導体立国ふたたび』日刊工業新聞社, 218 ページ, 表 9-1: 電子ジャーナル社編 [2010]『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 184 ~ 185 ページより作成。1979 年と 1989 年の原出所は VLSI Research, 1999 年の原出所は Semiconductor Business News (CMP net)

表 1 は、世界半導体製造装置企業の上位 10 社売上高ランキングの推移である。1979 年から 10 年毎にどの国・地域の企業が上位 10 社に入っているのかが分かる。1979 年の売上高ランキングでは、上位 10 社中 9 社が米国企業であり、10 位によろやく西独 (当時) の企業が入っている。これが 1989 年になると上位 10 社に日本企業が 5 社入っており、しかも日本企業は 1 位と 2 位にランキングされ、米国企業はよろやく 3 位にランキングされている。1990 年頃は半導体産業において日本企業が世界市場の過半を占めて最も競争力があつた時期であるが、半導体製造装置産業でも半導体産業ほどではないが、日本企業が優位になつたのである。

その 10 年後の 1999 年では、米国企業が 5 社、日本企業が 5 社と売上高ランキングでは拮抗している。ただし、1 位は米国のアプライド・マテリアルであり、2 位の日本の東京エレクトロンの 2 倍以上の売上高を有しており、10 年前の 1989 年には上位 3 社の売上高はあまり

変わらなかったことに比べると大きな違いとなっている。そして、2009 年は米国企業が 4 社、日本企業が 4 社、欧州企業が 2 社 (両社ともオランダ企業) である。2009 年は世界的な経済不況によって半導体市場が縮小しており、その影響で半導体製造装置市場も大きな打撃を受けたため、売上高を前年あるいは一昨年より大きく落としている企業がほとんどであるが、1 位が米国企業、2 位が欧州企業、3 位が日本企業となっている。2 位と 3 位の売上高の差はあまりないものの、2 位の ASML はステッパ企業であり、露光装置市場における競合企業であるニコン、キヤノンを世界市場で圧倒していることは重要である。

このように、1979 年以降の世界半導体製造装置企業の売上高ランキングから、米国企業の圧倒的優位の時代、日本企業が優位の時代、再び米国優位だが日本企業も競争力をかなり持続している時代へと、世界の半導体製造装置産業は推移してきたことが分かる。

3. 半導体製造装置市場の現状

(1) 世界の半導体製造装置市場の現状

半導体製造装置産業の市場規模がどの程度であるかを見てみる。1991 年に 91 億ドルであったが、2006 年では 405 億ドルである。リーマンショック後には、この市場も大幅に縮小し、2009 年は 159 億ドルであり、2010 年で 272 億ドル程度と予測されている (表 2 参照)。これに対して、半導体売上高を見ると、1991 年に 546 億ドル、2006 年に 2477 億ドルであったが、2009 年に 2263 億ドルとなり、2010 年は 2892 億ドルにまで回復すると予測されている。2006 年からの 5 年間の推移を見ると、半導体売上高は世界経済の不況により、ピークの 2007 年より 2009 年は約 11% 減少するに留まったが、半導体製造装置売上高はピークの 2007 年より 2009 年は約 63% と劇的な減少となっており、2010 年でもピーク時の約 64% の回復に留まるという予測である。

半導体製造装置の需要は半導体企業の設備投資の動向によって左右される関係であることは周知のことである。こうした関係を前提として、半導体製造装置売上高が半導体売上高の何 % を占めるかを見ると、1991 年とその 15 年後の 2006 年はともに 16% 台である。しかし、2007 年の 16.7% から、2008 年には 11.9%、2009 年には 7.0%、2010 年予測で 9.4% となっており、半導体製造装置売上高比率は不況期に下ぶれしている。半導体市場が順調に伸びてい

表 2 半導体および半導体製造装置売上高の推移 (単位 : 100 万ドル, %)

	1991 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
半導体売上高	54,607	247,716	255,645	248,603	226,313	289,197
半導体製造装置売上高	9,111	40,474	42,766	29,664	15,900	27,263
製造装置の対半導体比率	16.7	16.3	16.7	11.9	7.0	9.4

注) 2010 年は予測

出所) 電子ジャーナル社編 [1994] 『1994 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社、21 ページ ; 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社、23 ページより作成。

る際には、半導体製造装置市場は15%以上の比率を有しているが、半導体市場が縮小局面に入ると10%を割り込むのである。

(2) 地域別半導体製造装置市場の現状

さて、世界の半導体製造装置の地域別市場の現状を見る。1991年には、日本市場が全体の50.5%を占めているのに対して、米国は26.0%、欧州が9.2%、アジア（日本を除く）が14.3%となっており、圧倒的に日本市場が大きい。当時、日本における半導体生産が世界において非常に大きな割合を占めていたことの反映である。

表3 世界地域別半導体製造装置市場の推移（単位：100万ドル、（ ）は%）

	1991年	2006年	2009年	2010年
日本	4,605 (50.5)	9,209 (22.8)	2,218 (13.9)	3,594 (13.2)
米国	2,371 (26.0)	7,324 (18.1)	3,371 (21.2)	4,716 (17.3)
欧州	835 (9.2)	3,595 (8.9)	952 (6.0)	1,709 (6.3)
アジア	1,299 (14.3)	20,346 (50.3)	9,360 (58.9)	17,244 (63.3)
世界全体	9,111 (100.0)	40,474 (100.0)	15,900 (100.0)	27,263 (100.0)

注) 2010年は予測

出所) 電子ジャーナル社編 [1994] 『1994 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 21～23ページ: 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 24ページより作成。

これが15年を経過した2006年になると様相は一変し、日本市場は22.8%、米国市場は18.1%、欧州は8.9%であるのに対して、アジアが50.3%と過半を占めるようになった(表3参照)。この変化は、半導体製造装置市場が縮小局面に入っても変わらない。日本市場は2009年に13.9%、2010年予測で13.2%であり、米国は2009年に21.2%、2010年予測で17.3%、欧州は2009年に6.0%、2010年予測で6.3%となっているのに対して、アジアは2009年に58.9%、2010年予測で63.3%とますます世界市場に占める比率を高めており、かつ今後も高まると予測されている。世界半導体製造装置市場は、約20年前の1990年代初頭は日本が過半を占め、日米欧で85%以上を占めるもっぱら先進国に存在していたが、現在はアジアが過半を占め、その比率は60%を超えつつある。半導体工場が先進国から新興国に急速にシフトしている現実を反映しているのである。

アジアにおける半導体製造装置市場をもう少し詳しく見る。表4から分かるように、1991年の市場規模は13億ドル弱であったが、15年後の2006年の市場規模は約203億ドルへと15倍以上に拡大している。韓国は1991年に6.84億ドルの市場規模であったものが、2006年には68.25億ドルとほぼ10倍になっており、台湾のそれは3.58億ドルから76.33億ドルへと21倍以上、シンガポールのそれは0.43億ドルから23.29億ドルへと54倍以上、中国のそれは0.53億ドルから23.42億ドルへと44倍以上に拡大している。この4カ国・地域でアジア全体の94% (2006年) を占めており、その中で台湾はアジア全体の37.5%を占め、この4

カ国・地域で最も大きな市場になっているのである。

表 4 アジアの半導体製造装置国・地域別市場の推移 (単位: 100 万ドル)

	1991 年	2006 年	2009 年	2010 年
韓国	684	6,825	2,564	6,000
台湾	358	7,633	4,573	7,329
シンガポール	43	2,329	814	1,374
中国	53	2,342	962	1,947
アジア全体	1,299	20,346	9,360	17,244

注) 2010 年は予測

出所) 電子ジャーナル社編 [1994] 『1994 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 66 ページ; 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 68 ページより作成。

次に、半導体製造装置市場の縮小局面を見ると、韓国の 2009 年の市場規模は 25.64 億ドル、2010 年の市場規模は 60 億ドルと予測され、台湾のそれは 45.73 億ドル、73.29 億ドルと予測されており、韓国は 2010 年に 2006 年水準の約 88%、台湾は 2010 年に 2006 年水準を超えようとしている。これに対して、シンガポールのそれは 8.14 億ドル、19.47 億ドルと 2006 年水準の約 59%、中国のそれは 9.62 億ドル、19.47 億ドルと 2006 年水準の約 83% である。2009 年でこの 4 カ国・地域はアジア全体の約 95% を占めており、また台湾はアジア全体の 48.9% を占めている。

これらの推移からアジアにおける半導体製造装置国・地域別市場の推移は、韓国、台湾、シンガポール、中国の 4 カ国・地域がほとんどを占め、かつ台湾が最も大きな市場となっていることが分かる。さらに、台湾の世界市場に占める比率を見ると、2006 年に 18.9%、2009 年に 28.8% となっており、2010 年には 26.9% と予測されており、現時点で世界半導体製造装置市場の約 4 分 1 のシェアを占めるまでの存在であり、今や単独の国・地域として最大市場である。

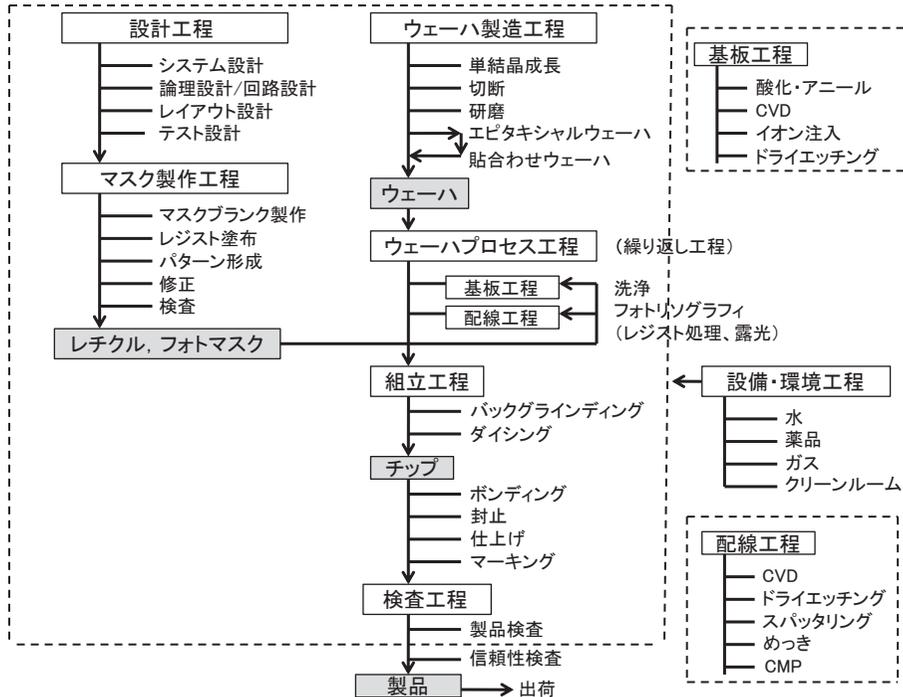
(3) 主要半導体製造装置別市場の現状

ここでは、主要半導体製造装置別市場の特徴を検討するが、その前に半導体を生産するためには、非常に多くの種類の製造装置が必要であることを指摘しておく。半導体製造装置は半導体工場の生産ラインを構成しているが、半導体生産工程毎に、如何に多様な製造装置が必要であるかを説明する。

半導体生産工程は、設計、マスク製作、ウェーハ製造、ウェーハプロセス (前工程)、組立 (後工程)、検査の各工程から構成されている (図 1 参照)。半導体設計は、システム設計、論理設計、回路設計、レイアウト設計、テスト設計の各工程から構成されているが、これらは設計用コンピュータで行われている。

マスク製作は、ガラス基板、クロム成膜 (遮光膜)、レジスト塗布、描画 (電子)・現像、クロム膜・エッチング、レジスト剥離、欠陥修正、ベリクル塗布の各工程から構成され、洗浄・乾燥装置、

図1 半導体生産工程のフローチャート



出所) 日本半導体製造装置協会編 [2006] 『半導体製造装置用語辞典 第6版』 日刊工業新聞社, 2 ページより作成。

薄膜形成装置, レジスト塗布装置, 露光・描画装置, エッチング・剥離装置, 欠陥検査装置, 欠陥修正装置, 線幅・座標測定装置, 異物・外観検査装置などの製造装置がある。

ウェーハ製造工程は, 単結晶シリコン引上げ, 外周研削・面方向マーク加工, スライス加工, 外周加工, ラッピング, エッチング, 熱処理, ポリシングの各工程から構成され, 単結晶製造装置, 研削装置, 切断装置, 面取装置, ラッピング装置, ポリシング装置, 熱処理装置, 物性検査装置, 形状測定装置, 表面検査装置などの製造装置がある。

ウェーハプロセス工程は, 洗浄, 成膜, フォトリソグラフィ, エッチング, レジスト剥離, 洗浄, 成膜, CMP, エッチング, 洗浄, 成膜, フォトリソグラフィ, エッチング, レジスト剥離, 洗浄, 不純物注入, 成膜, フォトリソグラフィ, エッチング, 成膜, フォトリソグラフィ, エッチングの各工程から構成されているが, ウェーハはこうした工程を繰り返しながら出来ていく。この工程では, 真空蒸着装置, スパッタリング装置, CVD 装置, エピタキシャル成長装置, めっき装置, 酸化装置, 熱拡散装置, レーザドーピング装置, プラズマドーピング装置, イオン注入装置, アニール装置, 塗布装置, 現像装置, ベーキング装置, レジスト剥離装置, 露光装置, ウエットエッチング装置, ドライエッチング装置, ウエット洗浄措置, ドライ洗浄装置, 乾燥装置などの製造装置がある。

組立工程は、裏面研削、ダイシング、ダイボンディング、ワイヤボンディング、モールドイング(封止)、リードめっき、リード切断・成形、マーキングの各工程から構成されており、バックラインディング装置、ウェーハマウンタ装置、ダイシング装置、ブレーキング装置、ダイボンディング装置、ワイヤボンディング装置、ワイヤレスボンディング装置、樹脂封止装置、気密封止装置、BGA パッケージング装置、バリ取り装置、はんだ処理装置、リード加工機、インクマーキング装置、レーザマーキング装置などの製造装置がある。

検査工程は、ウェーハテスト、パッケージング、パッケージテスト、スクリーニング、電気特性検査、マーキング、ファイナルテストの各工程から構成されており、テストング装置、ハンドリング装置、エージング装置、混在型テストング装置、ロジステスティング装置、メモリテストング装置、リニアテストング装置、イメージセンサテストング装置、電子ビームテストング装置、レーザビームテストング装置、ウェーハハンドリング装置、パッケージングハンドリング装置、レーザリペア装置、エージングなどの製造装置がある¹²⁾。以上から分かるように、半導体生産工程において、多種多様な半導体製造装置が設置され、使用されていることが分かる。なお、以下では、ウェーハプロセス工程を前工程と表記する。

表 5 は主要半導体製造装置別市場の推移であり、どの半導体製造装置も 1991 年から 2006 年にかけて市場が拡大していることが分かる。しかし、市場縮小局面である 2009 年には、いずれの半導体製造装置も市場規模を大幅に縮小しており、回復傾向にある 2010 年(予測値)もまだ 2006 年水準に戻った装置は一つもない。

半導体製造装置としてしばしば取り上げられるステッパ&スキャナを見ると、1991 年に 8.85 億ドルであったものが、2006 年には 60.94 億ドルと 6.9 倍に市場規模が拡大した。洗浄・乾

表 5 世界の主要製造装置の市場の推移

(単位: 100 万ドル)

	1991 年	2006 年	2009 年	2010 年
(マ) 電子ビーム描画	110	353	187	324
(前) ステッパ&スキャナ	885	6,094	2,765	4,713
(前) ドライエッチング	1,027	3,603	1,583	2,677
(前) 洗浄・乾燥	389	2,017	911	1,545
(前) プラズマ CVD	400	2,093	848	1,424
(前) スパッタリング	498	1,873	685	1,156
(前) ウェーハ検査	127	2,569	1,063	1,808
(組) ダイボンダ	63	493	274	491
(組) ワイヤボンダ	173	722	348	638
(検) メモリテスタ	460	1,653	193	338
(検) ミクストシグナルテスタ	106	1,600	516	923

注) 2010 年は予測。(マ) はマスク製作工程、(ウ) はウェーハ製造工程、(前) は前工程、(組) は組立工程、(検) は検査工程の略である。

出所) 電子ジャーナル社編 [1994] 『1994 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社、88～89 ページ: 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社、106～107 ページより作成。

12) 以上の説明は日本半導体製造装置協会編 [2006] 参照

燥は同期間における市場規模は 5.2 倍、プラズマ CVD のそれは 5.2 倍、ウェーハ検査は 20.2 倍、ダイボンダが 7.8 倍、ミクストシグナルテスタは 15.1 倍となっており、この 6 つの製造装置は市場規模が 5 倍以上となっている。これに対して、ドライエッチングの同期間における市場規模は 3.5 倍、スパッタリングのそれは 3.8 倍、ワイヤボンダは 4.2 倍、メモリテスタは 3.6 倍、電子ビーム描画は 3.2 倍となっている。市場規模の縮小局面を見ると、次のようになる。前工程のステップ & スキャナは 2006 年に対して 2009 年は 45.4%、ドライエッチングのそれは 43.9%、洗浄・乾燥は 45.2% であり、組立工程のダイボンダは 55.6%、ワイヤボンダは 48.2% の市場規模であったが、検査工程のメモリテスタは 11.7%、ミクストシグナルテスタは 32.3% の市場規模であった。このように、市場規模の縮小局面において、前工程や組立工程の製造装置よりも検査工程の製造装置の市場縮小はより急激に進行している。これは、市場規模縮小局面において、次期への設備投資において、前工程や組立工程の半導体製造装置が、検査工程のそれより優先されていることを示している。

以上から、同じく半導体製造装置と言っても、製品単価や出荷台数によって変化があり、市場規模拡大にせよ、市場規模縮小にせよ、製造装置毎に見てもその市場は大きく変動していることが分かる。ただし、1991 年から 2006 年の推移からは、半導体製造装置がそれぞれ技術イノベーションによって進化発展を遂げているが、半導体製造装置にとってより重要となったり、より製品単価が大きくなっていく半導体製造装置と、そうでない半導体製造装置が出現している。例えば、前工程のウェーハ検査や検査工程のミクストシグナルテスタは市場規模が急激に拡大していった製造装置であり、ステップ&スキャナも前工程の中で相対的により市場規模が拡大していった製造装置である。

4. 半導体製造装置市場における企業間競争

(1) 世界の半導体製造装置企業の競争関係

ここでは、まず世界の半導体製造装置企業の現在の競争関係について見てみる（表 6 参照）。現在、世界半導体製造装置企業の売上高ランキング 1 位は 1967 年に米国で設立された AMAT（アプライドマテリアル）である。同社は 1993 年段階ですでに売上高ランキングにおいて 1 位であり、2008 年、2009 年においてもその地位を保持し続けている。同社は、エッチング装置、CVD 装置、スパッタリング装置、エピタキシャル成長装置、CMP 装置、Cu めっき製造装置でトップクラスの市場シェアを有する企業である。

売上高ランキング第 2 位は 1984 年にオランダで設立された ASML である。同社は、ステップ & スキャナ装置で世界第 1 位であり、露光装置の主要部分をモジュール化し、それをドイツの Carl Zeiss、オランダの Philips、米国の Cyner などからアウトソーシングで調達するビジネスモデルを採用している。1993 年には第 17 位であったが、その後急成長を遂げ、現在

の地位にある。第 3 位は 1963 年に設立された東京エレクトロンである。同社の主力製品は、コータ & デベロッパ、ドライエッチング装置、酸化・拡散炉、減圧 CVD 装置、プローバなどである。1993 年段階ですでに第 3 位であり、現時点においてもほとんどその地位に変動はない。2008 年の売上高ではこの上位 3 社と 4 位以下ではかなりの売上高の格差があり、2009 年には AMAT と ASML、東京エレクトロンとの差が少し拡大し、3 位と 4 位の差は若干縮小している。

表 6 世界半導体製造装置企業売上高ランキング (単位:100 万ドル)

1993 年	2008 年	2009 年	半導体製造装置メーカー名	1993 年	2008 年	2009 年
1	1	1	(米) AMAT	1,160	5,119	3,146
17	3	2	(蘭) ASML	175	4,103	2,248
3	2	3	(日) 東京エレクトロン	995	4,181	2,243
6	5	4	(米) Lam Research	372	1,931	1,512
16	4	5	(米) KLA-Tencor	185	2,630	1,152
8	8	6	(日) 大日本スクリーン製造	347	1,153	863
11	9	7	(蘭) ASM International	271	1,038	832
7	7	8	(日) 日立ハイテクノロジーズ	360	1,504	716
3	6	9	(日) ニコン	731	1,542	701
20	11	10	(米) Novellus Systems	114	838	569

注) 日立ハイテクノロジーズは 2001 年に日立製作所の半導体製造装置部門等と合併しており、1993 年の順位及び売上高は日立製作所のものである。また、KLA-Tencor は 1997 年に KLA Instruments と Tencor Instruments が合併して設立されており、1993 年の順位と売上高は KLA のものである。

出所) 電子ジャーナル社編 [1994] 『1994 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社、160～161 ページ; 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社、184～185 ページより作成。

第 4 位は、1980 年に米国で設立された Lam Research である。同社は、もともとドライエッチング装置企業であり、1993 年に米国の旧 General Signal 傘下の Drytek、1997 年には米国の Ontrak Systems、2008 年にはオーストリアの Sez Group を買収し、洗浄装置などの製品ラインナップを拡大している。第 5 位は、1976 年に米国で設立された KLA Instrument と 1976 年に同じく米国で設立された Tencor Instrument が 1997 年に合併して誕生した検査装置世界市場第 1 位企業の KLA-Tencor である。マスク検査、ウェーハ検査、歩留まり管理システムなどの分野の製品を取り扱っている。2007 年に米国の Therma-Wave (膜厚測定装置)、2008 年にベルギーの ICOS Vision Systems (パッケージング装置、太陽電池や LED などの検査装置) を買収し、取り扱い製品を増やしている。第 6 位は、1943 年に設立され、1966 年に半導体製造用超精密縮小カメラ、1975 年にエッチング装置で半導体製造装置市場に参入した大日本スクリーン製造である。同社は、洗浄・乾燥装置、ランプアニール装置、ウェーハ検査装置などを取り扱っている。コータ & デベロッパ装置は同社と AMAT との合弁会社である SOKUDO に 2006 年に移管している (SOKUDO の当初の出資比率は大日本スクリーン製造が 52% であったが、2009 年に 81% に引き上げ連結子会社化した)。

第 7 位は、1968 年にオランダで設立された ASM International である。同社は、前工程の

CVD 対応の縦型炉，枚葉式エピタキシャル成長装置，プラズマ CVD 装置，組立工程のワイヤボンダ，ダイボンダと幅広い製品を取り扱っている。2008 年以降，欧州の生産拠点をシンガポールに移すなどのリストラクチャリングを進めている。第 8 位は，2001 年に日立製作所系商社である日製産業と日立製作所の計測器グループおよび半導体製造装置グループが統合され設立された日立ハイテクノロジーズである。同社は，前工程のエッチング装置，ウェーハ検査装置，組立工程のダイボンダ検査工程の測長 SEM などの製品を取り扱っている。第 9 位は，1917 年設立されたニコンである。同社は 1917 年に双眼鏡，1948 年にカメラを製造・販売しており，1968 年に検査装置のロータリーエンコーダ，1980 年に前工程の露光装置で半導体製造装置市場に参入している。ステッパ & スキャナは同社の主力製品であるが，同社売上の約 19%（2010 年 3 月期）を占めている。第 10 位は，1984 年に設立された Novellus Systems である。同社は，前工程の CVD 装置，UV 熱処理装置，PVD 装置などの製品を取り扱っている。

以上が半導体製造装置売上高上位 10 社の主力取り扱い製品および簡単な事業概要である。ここから分かることは，製品ラインナップの幅の広い企業といくつかの分野で製品展開している企業があること，前工程，組立工程，検査工程の主要製品すべてを手掛けている企業がないことである。むしろ，幾つかの分野に製品ラインナップを特定している企業が大半である。

(2) 主要半導体製造装置別の市場シェア

次に，主要製品別の世界半導体製造装置市場の市場シェアを見る。表 7 から分かるように，1 位企業の市場シェアが 50% を超えているのは，マスク製作工程の電子ビーム描画，前工程のステッパ & スキャナ，洗浄・乾燥，プラズマ CVD，スパッタリング，組立工程のワイヤボンダ，検査工程のミクストシグナルテスタとなっている。

多くの半導体製造装置市場において，1 位企業が市場の過半を超えていることが分かる。また，1 位企業が市場シェアの過半を超えている製造装置において，2 位企業が 25% を超えているのはプラズマ CVD だけであり，1 位企業の市場での競争力はたいへん高い。1 位企業と 2 位企業のシェアが拮抗しているのはメモリテスタだけであり，1 位企業のシェアのほぼ 3 分の 2 以内にあるのはプラズマ CVD とダイボンダの 2 種類のみである。3 位企業で市場シェアが 20% を超えている製造装置市場は一つもない。以上から，多くの主要世界半導体製造装置市場では，1 位企業の市場での影響力がたいへん大きく，2 位，3 位企業のシェアはそれぞれ相当低いことが確認できる。

ところで，和田木哲哉・横山貴子 [2009] は，次のように指摘している。前工程では 1 位企業の市場シェアが 60% を超えると限界利益率が 60% を超え，シリコンサイクルの調整局面でも 10% 以上の営業利益率を獲得できるという経験則がある。1 位企業の市場シェアが 40% を切ると，当該市場は過当競争に成りやすく，限界利益率 40% を割り，シリコンサイクル調整

表 7 主要製品別世界半導体製造装置市場シェア (2009 年) (単位: 100 万ドル, %)

製品名	市場規模	1 位		2 位		3 位	
(マ) 電子ビーム描画	187	ニューフレア	84	日本電子	6	日立ハイテク	3
(前) ステップ & スキャナ	2,765	ASML	70	ニコン	22	キヤノン	7
(前) ドライエッチング	1,583	Lam	46	東京エレ	27	AMAT	15
(前) 洗浄・乾燥	911	大日本スクリーン	57	東京エレ	13	Lam	10
(前) プラズマ CVD	848	AMAT	51	Novellus	34	ASMI	11
(前) スパッタリング	685	AMAT	66	アルパック	14	キヤソンアネルバ	14
(前) ウェーハ検査	1,063	KLA-Tencor	45	日立ハイテク	18	FEI	10
(組) ダイボンダ	274	ASM Pacific	31	BESI	20	日立ハイテク	17
(組) ワイヤボンダ	348	ASM Pacific	51	K&S	24	新川	11
(検) メモリテスタ	193	アドバンテスタ	40	Verigy	38	Teradyne	13
(検) ミクストシグナルテスタ	516	Teradyne	49	アドバンテスタ	16	Verigy	16

注) Lam は Lam Research, 東京エレは東京エレクトロン, 大日本スクリーンは大日本スクリーン製造, Novellus は Novellus Systems, ASMI は ASM International, 日立ハイテクは日立ハイテクノロジーズ, ASM Pacific は ASM Pacific Technology, BESI は BE Semiconductor Industries, K&S は Kulicke & Soffa Industries, ニューフレアはニューフレアテクノロジーの略。製品名の () は表 5 と同じ略。

出所) 電子ジャーナル社編 (2010) 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 111 ~ 175 ページより作成。

局面ではマイナスの営業利益となることがある。逆に, 1 位企業の市場シェアが 70% を超えると, ユーザーである半導体企業から不満の声が高まり, 代替技術開発やセカンドベンダー開発に拍車がかかりやすい。組立工程では, クリーンルームの運用などの負荷が低く, 限界利益率が 40% を切ったとしても 15% 程度の営業利益率を獲得することは可能である¹³⁾。

すなわち, 半導体製造装置産業において, 高い利益率を獲得するには 1 位企業となることが重要であり, 2 位や 3 位では市場の縮小局面では利益を獲得しにくいのである。このことは, 2 位企業や 3 位企業が 1 位企業になろうとする誘因になっており, 圧倒的な市場シェアの差がないと, 非常に激しい競争関係になる。このことを可能にするのは, 半導体製造装置が絶えず新製品, 次世代の生産工程に対応する製造装置を開発・生産することが必要だからであり, 画期的新製品の登場時期は市場でのポジションを変える機会である¹⁴⁾。

(3) 半導体製造装置企業の地域別売上高

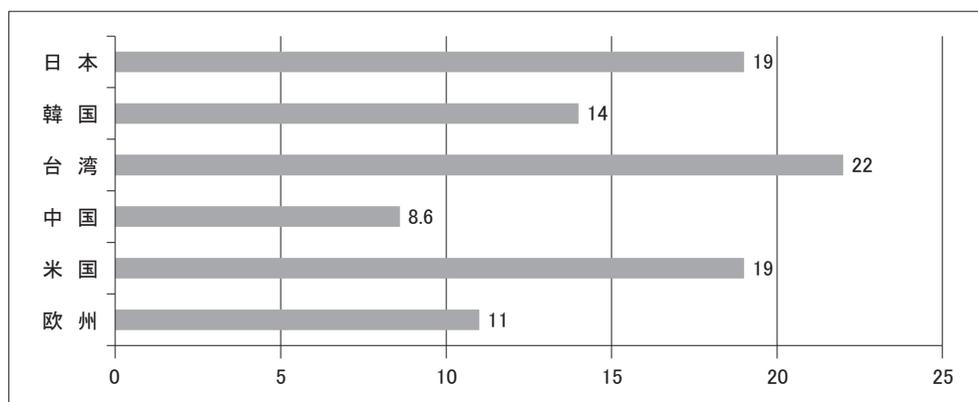
さて, 半導体製造装置は半導体工場に納品され, 装置として設置され, 半導体生産のために稼働するのであるから, 世界の半導体生産能力がどの国・地域に存在しているかを確認しておく。図 2 は, 2006 年における世界の半導体工場を 8 インチ換算して, どの国・地域にあるかを示したものであり, 2006 年時点での生産能力を表している。日本が 19%, 米国が 19%, 欧州が 11% であり, 先進国・地域で 49% の半導体生産能力がある。これに対して, 韓国が 14%, 台湾が 22%, 中国が 8.6% であり, 新興国・地域で約 45% の生産能力を占めるまでになっ

13) 和田木哲哉・横山貴子 [2009] 57 ~ 58 ページ。

14) Christensen, Clayton M.[1997, 2000]

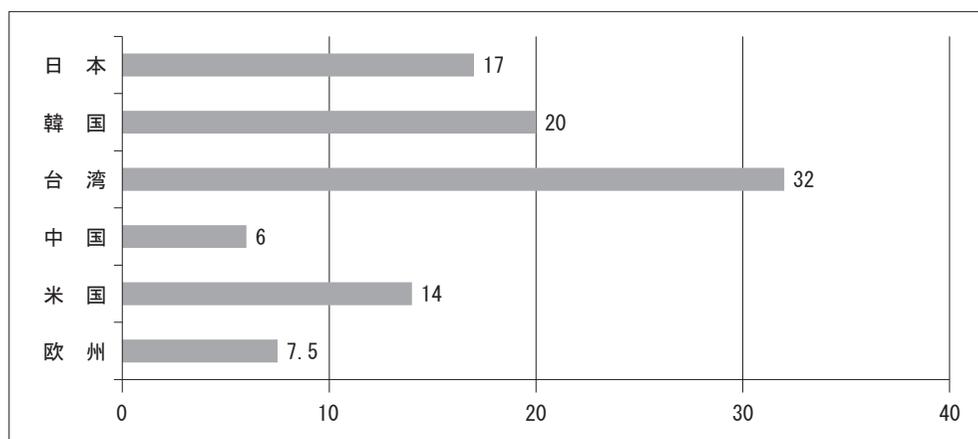
ている。今や、先進国・地域と新興国・地域で世界の半導体生産能力は二分されている。

図2 世界の半導体工場の生産能力（8インチウエハ換算，2006年）（単位：%）



出所) 湯之上隆 [2008] 「半導体：先進技術の選択的導入による棲み分け構造」塩地洋編『東アジア優位産業の競争力』182ページ，図6-7より作成。原出所はWFW，2006年10月版。

図3 世界の12インチ半導体工場の生産能力（2006年）（単位：%）



出所) 湯之上隆 [2008] 「半導体：先進技術の選択的導入による棲み分け構造」塩地洋編『東アジア優位産業の競争力』184ページ，図6-9より作成。原出所はWFW，2006年10月版。

次に，図3を見ると，2006年における最新の12インチ半導体工場の生産能力がどの国・地域にあるかが分かる。日本，米国，欧州の先進国・地域で約39%，韓国，台湾，中国の新興国・地域で58%となっており，今や，新鋭半導体工場の生産能力は先進国・地域よりも新興国・地域の方が大きい。こうした新鋭半導体工場・生産ラインがどこで建設・増設されるかは，半導体製造装置市場の地域的分布に直接影響する。この現実，世界の半導体製造装置市場においてアジアがすでに2006年において50%を超え，さらに2010年では60%を超えると予測されていることと符合している。

このことを，半導体製造装置上位企業の地域別市場シェアから確認する。表8は，2009年

における上位 10 社の日本, 北米, 欧州, アジアで地域区分して, それぞれの企業がどのような割合となっているかを示している。どの企業も日本市場の比率は低く, 日立ハイテクノロジーを除いて日本市場比率が 20% を超えている企業はない。北米市場比率を見ると, 日立ハイテクノロジーとニコンだけが 30% を超えているが, それ以外の 8 社は 30% 未満の比率である。欧州は Novellus Systems が 11% となっているが, それ以外の 9 社はいずれも 10% 未満の比率である。これに対して, アジア市場は日立ハイテクノロジーが 20%, ニコンが 40% であり, Novellus Systems が 48.4% とわずかに 50% に届いていないが, それ以外の 7 社はいずれも 50% 以上の比率となっている。この中で, ASML, 大日本スクリーン製造, ASM International の 3 社のアジア比率は 70% を超えており, アジアシフトがたいへん進んでいる。

表 8 世界半導体製造装置上位企業の地域別市場シェア (単位: 100 万ドル, %)

順位	半導体製造装置メーカー名	売上高	日本	北米	欧州	アジア
1	(米) AMAT	3,146	19.0	22.0	5.0	54.0
2	(蘭) ASML	2,248	0.0	22.3	2.6	75.1
3	(日) 東京エレクトロロン	2,243	16.8	21.2	4.2	57.8
4	(米) Lam Research	1,512	18.0	17.0	8.0	57.0
5	(米) KLA-Tencor	1,152	14.0	22.0	6.0	58.0
6	(日) 大日本スクリーン製造	863	11.0	14.0	5.0	70.0
7	(蘭) ASM International	832	6.6	11.3	6.8	75.3
8	(日) 日立ハイテクノロジー	716	39.0	32.0	9.0	20.0
9	(日) ニコン	701	20.0	35.0	5.0	40.0
10	(米) Novellus Systems	569	15.6	25.0	11.0	48.4

注) 日立ハイテクノロジー, Novellus Systems の地域別シェアは推定値。

出所) 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社, 291 ~ 487 ページより作成。

半導体製造装置上位企業は, 米国 4 社, 日本 4 社, オランダ 2 社であるが, その市場の半分以上はアジアである。世界半導体製造装置企業の上位を占めようとするならば, まずはアジア重視とならなければならない。このアジアというのは, 表 4 で確認した台湾, 韓国, シンガポール, 中国である (この 4 カ国・地域で 2009 年のアジア市場の約 95%)。半導体製造装置上位企業の地域別市場シェアを見ても, 同様にアジア重視ということである。世界の半導体製造装置市場が, もっぱら先進国・地域にあった時代は終わり, アジア, とりわけ東アジアの新興国・地域にある時代になったことを, この分析から確認できる。

5. おわりに

本稿では, 次のことを分析してきた。半導体製造装置産業が米国を中心に発展し, 日本などはその後を追いつけた歴史であったが, 1980 年代後半には産業競争力の日米逆転が生じ, 1990 年代には再度の米日再逆転が生じた。ただし, 半導体産業ほど米日の差は拡大せず, 今日に至るも, なお日本の半導体製造装置産業は競争力を有していることを指摘した。

次に, 半導体製造装置の国・地域別市場および装置別市場の基本的特徴を分析した。国・地

域別分析では、1990年代初頭には先進国・地域にもつばら市場があったが、2000年代終わりには新興国・地域での市場が過半を超えるようになった。また、装置別市場分析では、各市場において拡大が見られたが、装置によってはより早く規模拡大したり、市場縮小期により縮小が少ない装置が見られ、次期投資に向けた優先順位があることが明らかになった。

最後に、半導体製造装置市場における上位企業、主要装置別市場シェア、上位企業の地域別市場シェアを分析した。主要装置別市場シェアでは、各市場において1位企業の市場シェアはたいへん高いこと、2位、3位企業との差が大きい、競争関係は激しいことを確認した。また、半導体製造装置上位企業は、先進国・地域から新興国・地域市場へ市場の重点を大きくシフトしていることを確認した。そして、半導体製造装置市場においてアジアシフトをしない限り、その半導体製造装置企業はその地位を保持することは出来ないし、競争関係において優位な地位につく可能性は極めて少ないことが明らかになった。

《参考文献》

- Christensen, Clayton M.[1997, 2000] *The Innovator's Dilemma: The Revolutionary National Bestseller That Changed the Way We Do Business*, Harvard Business school Press. (クレイトン・クリステンセン [2001] 玉田俊平太監修・伊豆原弓訳『イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき—増補改訂版』翔詠社)
- 肥塚浩 [1996] 『現代の半導体企業』ミネルヴァ書房
- 肥塚浩 [2010] 「半導体ビジネスの戦略転換—日本メーカーの事例—」『立命館経営学』第48巻第6号
- 志村幸雄 [1980] 『IC産業最前線』ダイヤモンド社
- 志村幸雄 [1984] 『IC産業の新展開』ダイヤモンド社
- 志村幸雄 [1992] 『2000年の半導体産業』ダイヤモンド社
- 垂井康夫監修・日本半導体製造装置協会編 [1991] 『半導体立国日本—独創的な装置が築き上げた記録—』日刊工業新聞社
- 電子ジャーナル社編 [1994] 『1994 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社
- 電子ジャーナル社編 [2010] 『2010 半導体製造装置データブック』電子ジャーナル社
- 日本電子機械工業会編 [1986] 『86 ICガイドブック』日本電子機械工業会
- 日本半導体製造装置協会編 [2006] 『半導体製造装置用語辞典 第6版』日刊工業新聞社
- 藤村修三 [2000] 『半導体立国ふたたび』日刊工業新聞社
- プレスジャーナル社編 [1984] 『1984年度版 日本半導体年鑑』プレスジャーナル社
- プレスジャーナル社編 [1990] 『1990年度版 日本半導体年鑑』プレスジャーナル社
- 湯之上隆 [2008] 「半導体：先進技術の選択的導入による棲み分け構造」塩地洋編『東アジア優位産業の競争力』
- 和田木哲哉・横山貴子著 / 奥村勝弥監修 [2009] 『徹底解析 半導体製造装置産業』工業調査会
各社 HP

