

# 〈1〉 米中ハイテク戦争と中国半導体産業 10年後には紅色半導体が世界を席卷？

微細加工研究所 所長 湯之上 隆

## はじめに

中国の習近平国家主席肝煎りの産業政策「中国製造 2025」の1丁目1番地には、「中国半導体産業の強化」がある。2014年に設立された中国IC基金は18兆円に増額され、この資金を投じて中国が国産の半導体工場を立ち上げようとしている。その巨大半導体工場には、大量の製造装置が必要であるが、現状では、製造装置も材料も、中国は日米欧に依存している。

そのような中、米中はハイテク戦争を繰り広げている。特に、2018年12月1日に中国ファーウエーの孟晩舟・副会長兼CFOが米国の要請によりカナダのバンクーバーで逮捕されて以降、米中ハイテク戦争は激化の一途を辿っている。

この状態では、中国は米国製の半導体製造装置を輸入することができない。実際に米商務省は10月29日、中国で月産10万枚規模の先端DRAM工場を立上中のFujian Jinhua Integrated Circuit (JHICC)に対して、米国製の製造装置の輸出を規制すると発表した。その結果、JHICCの先端DRAMの立上は頓挫すると思われる。

ところが、上記のような事態を見越してか、中国は、製造装置や材料の国産化を着々と進めていたのである。それは筆者の想像を超えた次元に到達していた。現時点では、中国の製造装置の水準は、最先端から5年程度遅れている。しかし、米国が製造装置を輸出しないことが、かえって中国製の製造装置の進化を促進する可能性がある。

本稿では、まず、中国の半導体産業の現状と課題を論じる。次に、激化する米中ハイテク戦争の全貌を概観する。さらに、中国の半導体製造装置の水準を明らかにし、5～10年後を展望する。最後に、激化する米中ハイテク戦争が、中国の半導体や製造装置産業にどのような影響をもたらすかを考察する。

## 1. 中国の半導体産業の現状と課題

### 1-1 中国半導体産業の課題は低い自給率

半導体の地域別市場を見ると、2000年のITバブル以降は、日米欧の先進国の市場が停滞しているのに対して、アジア市場が急成長していることがわかる（図1）。このアジア市場には、中国市場が含まれているが、2005年以降は中国のみの半導体市場データが出始めた。それによれば、2007年以降、中国市場が世界最大となり、その後も猛烈な勢いで市場規模が拡大している。

次に、世界半導体市場、中国半導体市場、および世界市場に占める中国市場の割合をグラフにしてみた（図2）。2005年に18.5%だった中国市場の割合は、2017年に33.5%に増大している。つまり、世界の半導体の1/3以上を中国が消費していることになる。

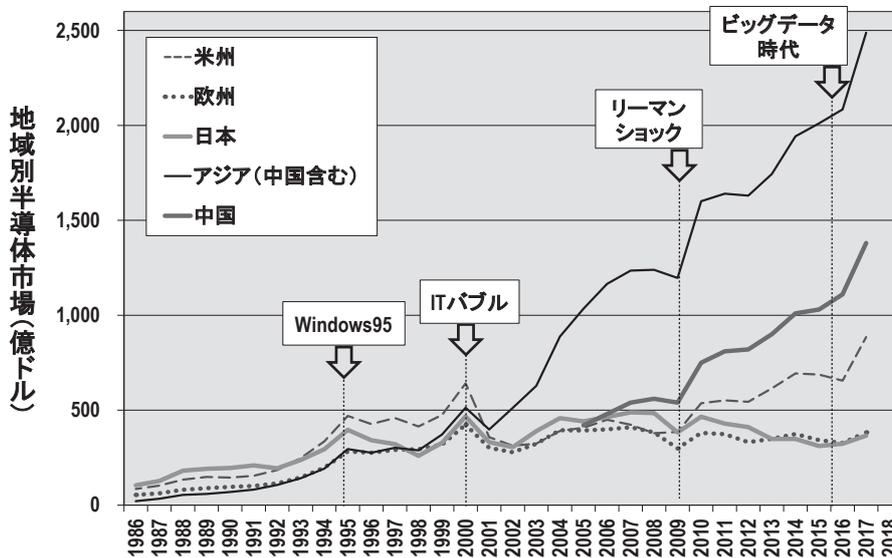


図1 半導体の地域別市場

出所：日経 XTECH（ソース WSTS）および IC Insights のデータを元に筆者作成

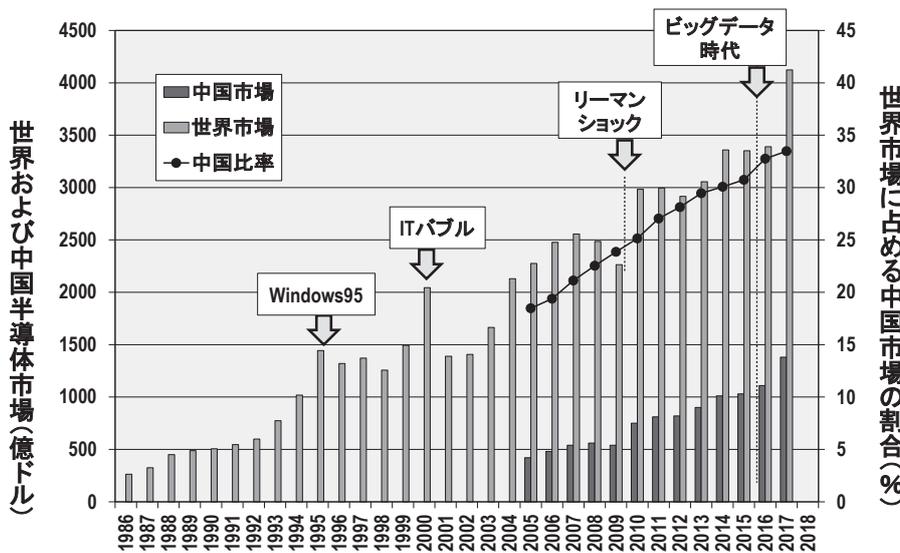


図2 半導体の世界市場、中国市場、中国が占める割合

出所：日経 XTECH（ソース WSTS）および IC Insights のデータを元に筆者作成

この第一の理由は、人口約14億人の中国が経済発展を遂げ、PC、スマホ、デジタル家電など、半導体が搭載されている製品を大量に購入するようになったことにある。第二の理由としては、従業員130万人を擁するEMSのホンハイが、世界の約9割のPC、スマホ、デジタル家電を組み立てており、それには大量の半導体が必要となったことが挙げられる。

このように、中国は大量の半導体を必要としている。しかし、2017年時点で必要な1380億ドルの半導体のうち、その自給率はわずか13.4%（185億ドル）しかない（図3）。残り86.6%の1195億ドル分は輸入に頼っており、これが中国の貿易赤字の最大の元凶となっている。

要するに、中国は大量の半導体を必要としているが、それを製造することができていない。したがって、中国政府にとって、半導体の自給率を向上させることが喫緊の課題となっているのである。

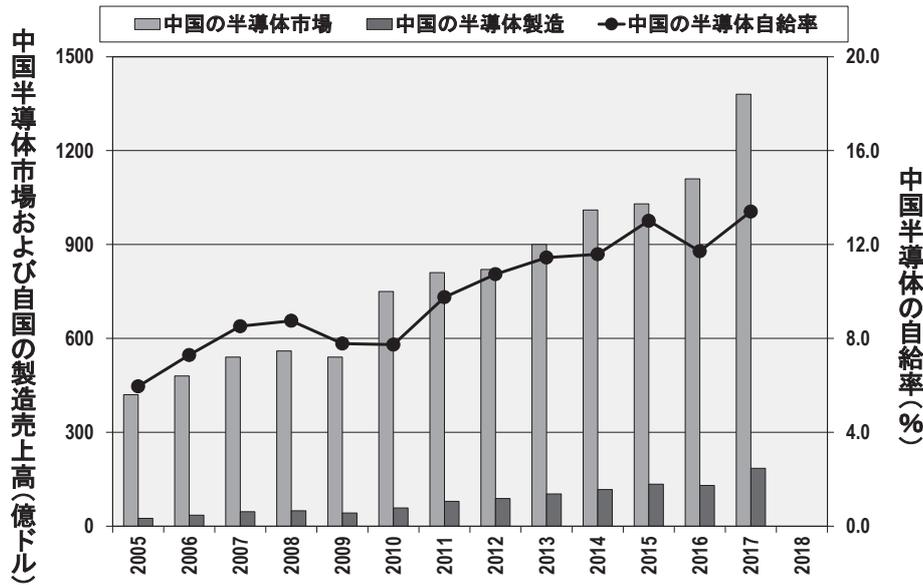


図3 中国半導体市場、自国の製造売上高、自給率  
出所：日経 XTECH（ソース WSTS）および IC Insights のデータを元に筆者作成

### 1-2 中国の半導体政策と半導体工場の建設計画

半導体の自給率を向上させるために、習金平国家主席は、2014年6月に半導体新興を目指す「国家IC産業発展推進ガイドライン」を制定し、「中国IC産業ファンド」を設立した。このファンドは当初2兆円程度だったが、現在は18兆円にのぼると言われている。

この巨額ファンドを基に、中国は2015年頃、世界の半導体企業を”爆買い”しようとしたが、米国や台湾司法当局が認可しなかったため、”爆買い”は不発に終わった。そこで中国は、今度は豊富なファンドを基に、中国国内に巨大半導体工場を建設することにした。

紫光集団傘下の長江ストレージ（旧 XMC）は、2016年春に240億ドルを投じて、2020年までに、月産10万枚の3次元 NAND フラッシュメモリのファブを3棟建設し、2030年には月産100万枚規模に拡張すると発表した。2017年には第1棟が完成し、2018年には装置が搬入されつつある。また、既存の NOR フラッシュメモリの月産2万枚のラインを使って進めていた32層の3次元 NAND は歩留りが50%を超え、サンプル出荷を開始し、次は48層をスキップして64層の試作を開始しており、その動作にも成功している。

また、DRAM では、紫光集団が四川省成都に、UMC と合併している JHICC が福建省泉州に、イノトロン（旧 RuiLi, 旧 Hefei Chang Xin）が安徽省合肥市に、それぞれ、最先端 1Xnm 用の巨大工場を建設すると発表している。

JHICC では、2017年10月に第1棟が完成し、2018年後半に装置の導入を開始してDRAMの生産をはじめ、2019年には月産10万枚の規模に拡張する計画である。JHICC と技術提携している UMC が試作している先端DRAMの歩留まりは50%を超えた模様である。また、イノトロンも2017年に第1棟が完成し、2018年第一四半期に装置が搬入され始めた。イノトロンと技術提携している UMC が試作している先端DRAMの歩留まりは50%を超えた模様である。

一方、紫光集団の成都には、まだ具体的な動きがないが、紫光集団の Executive Vice President の Charles Kau 氏は、300億ドルを投じて月産30万枚のファブで最先端の1XnmDRAMを量産すると宣言している。

さらに、2000年に設立された後、低空飛行が続いていた中国最大のファンドリーSMICは2018年に、かつてTSMCで辣腕をふるい、その後サムスン電子に移籍してロジック・ファンドリーを強力に指導した Liang Mong Song 氏を、Co-Chief Executive Officer にスカウトした。Liang 氏の実力を考えると、今後、SMICが非常に怖い存在になる可能性が高い。

そして直近では12月21日に、台湾のホンハイと子会社のシャープが、中国に最新鋭ロジック・ファンドリー

を建設することが明らかになった。ホンハイと珠海市は2018年8月、半導体設計業務や設備などの分野で戦略提携に調印し、両者による総事業費は1兆円規模になる見込みである。

### 1-3 中国は半導体が大ブーム

このように、中国では2017年以降、中半導体が大ブームとなっている。とにかく18兆円もの巨額ファンドがある。カネさえあれば、半導体の巨大ファブを建設することが可能となり、最先端の製造装置もたやすく導入できる。

問題は、有能な経営者と大量の技術者の確保であるが、これもある程度はカネで解決できる。中国は、実績豊富な半導体メーカーの辣腕経営者や著名な大学教授を数十億円ものカネでスカウトしている。また、経験10年程度（30代前半）の半導体技術者を、3000万円程の高給で募集し掻き集めている。

実際、言葉の壁がない台湾では、世界最大のファンドリーTSMCの工場が丸ごと一つ運営できなくなるほどの技術者が中国に渡った模様である。また、最先端DRAMの製造を計画している中国企業が、マイクロンに買収された台湾のDRAMメーカー・インテラの技術者を、数百人引き抜いたという話も聞こえてくる。

台湾、その中でもTSMCは世界一給料が高い半導体メーカーであるが、中国企業はそれ以上の報酬を出すため、人材の流出が止まらないのである。これは、台湾の国家的な問題になっている。

中国国内においても、半導体企業の高給につられて、優秀な人材が集まってきていると考えられる。その兆候が、ファブレスの技術力や企業数に現れている。

テカナリエの清水洋治社長は、日経新聞2018年1月11日の『迫真 半導体 異次元の攻防4 迫る「紅い革新」』で、中国ファウエーの最新スマホ「Mate10Pro」のプロセッサが、アップルの「iPhone10」と同じ10nmプロセスで製造されていることを明らかにし、「アップルと張り合うレベルに達したのか」と驚きのコメントを述べている。

上記プロセッサは、ファウエー傘下のハイシリコンが設計しており、世界最先端の設計技術を有していると言える。そして、2012年に512社だったファブレスは（それでもすごい数だが）、2016年には1362社に達している（図4）。因みに日本のファブレス数は、68社である。

設計を専門に行うファブレスは、メモリやファンドリーにおける半導体の製造に比べて少人数で開発ができる。最低10人でも可能だが、平均30人と仮定しても、中国には1200社×50人＝3.6万人の設計技術者がいることになる。1社平均50人なら、6万人だ。

この状況から、中国は半導体の設計技術において、日本の遙か彼方先を快走しており、米国に迫る勢いである。また、ファブレスの企業数においては世界一の規模になっている。

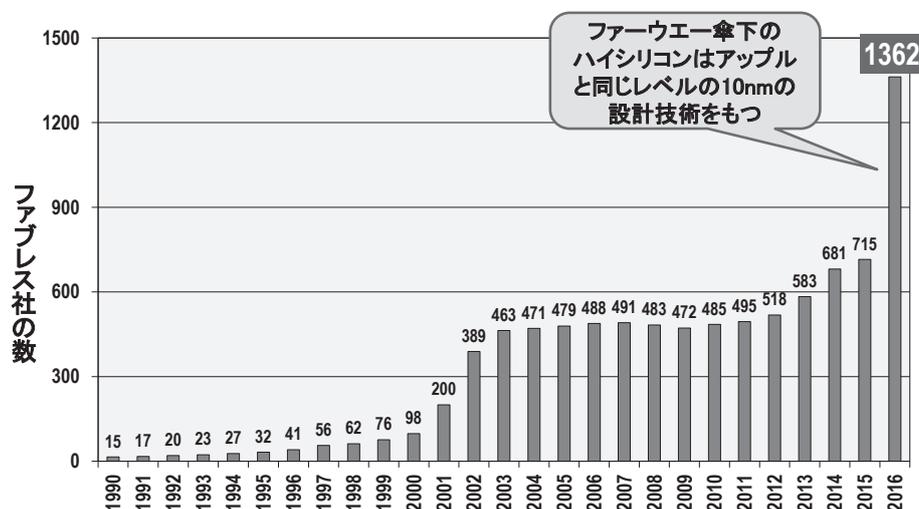


図4 中国のファブレス社数の推移

出所：福田昭のセミコン業界最前線2018年4月9日（ソースはMentorのWalden C. Rhines氏による講演スライド）

#### 1-4 中国のファブ建設の数が突出

規模で驚くのはファブレスだけではない。図5は、新たに建設される半導体工場の数を示したグラフである。中国で建設が開始されたファブ数と、中国以外の世界全体で建設が開始されたファブ数の推移を示している。

2014年は、中国を除く世界全体で10棟のファブの建設が開始され、中国ではその半分の5棟のファブ建設が開始された。2015年には、それぞれ、15棟および11棟となった。そして、2016年には、それぞれ、9棟及び13棟と、世界全体より中国で建設されるファブの数の方が多くなった。さらに、2017年には、世界全体が半導体工場の建設ラッシュとなり、それぞれ、26棟および22棟となった。

中国で建設が開始される26棟のファブには、インテル、サムスン電子、SK Hynix、TSMC、GLOBALFOUNDRIESなど、外国籍の半導体メーカーも含まれている。しかし、紫光集団、JHICC、イノトロン、SMICなど、中国国産の巨大ファブも、もちろん含まれている。

要するに、中国が、国内外企業も含めて、さらに、ファブレスもファブも含めて、半導体の一大集積地になりつつあるということだ。

また、2018年以降は、中国も世界も、ファブ建設数が減少していくことが見て取れるが、これはあくまで予測であって、この通り行くとは限らない。2017年は、4回も世界半導体市場の予測値が上方修正された。つまり、予測値は、あまりあてにならない。したがって、ファブ建設数も、図5の通りに下火になるとは限らない。

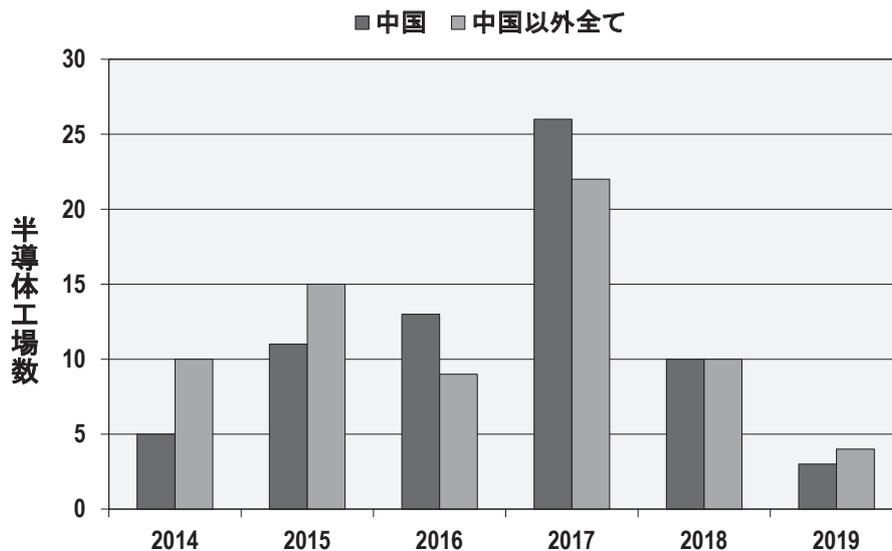


図5 中国で建設が開始されたファブの数、および、中国以外の世界全体で建設が開始されたファブの数  
 出所：EE Times Japan『半導体前工程の設備投資額、2019年まで4年連続成長へ』（2018年3月14日）ソースは「World Fab Forecast」（2018年2月28日）

#### 1-5 半導体製造装置の市場—前工程編—

ファブを建設したら、今度は製造装置を導入することになる。そこで、地域別の半導体製造装置市場の推移を見てみよう。データの出所は、電子ジャーナル『半導体装置データブック』および「World Fab Forecast」などである。

まず図6に、前工程装置の地域別市場を示す。2010年～2014年の間は、米国、台湾、韓国、が装置市場のトップ争いをしてきた。簡単に言えば、インテル、TSMC、サムスン電子が、競って巨額投資を行い、装置を導入していたのである。

ところが、2014年以降、米国の装置市場が低下していく。これは、PCがスマホに駆逐され、インテルのプロセッサが売れなくなり、投資を縮小せざるを得なくなったためである。

一方、台湾は、2014年以降も順調に装置市場が増大していく。これは、iPhone用プロセッサビジネスを完全

にサムスン電子から奪い取るなど、TSMC のファンドリー事業が好調であることを物語っている。

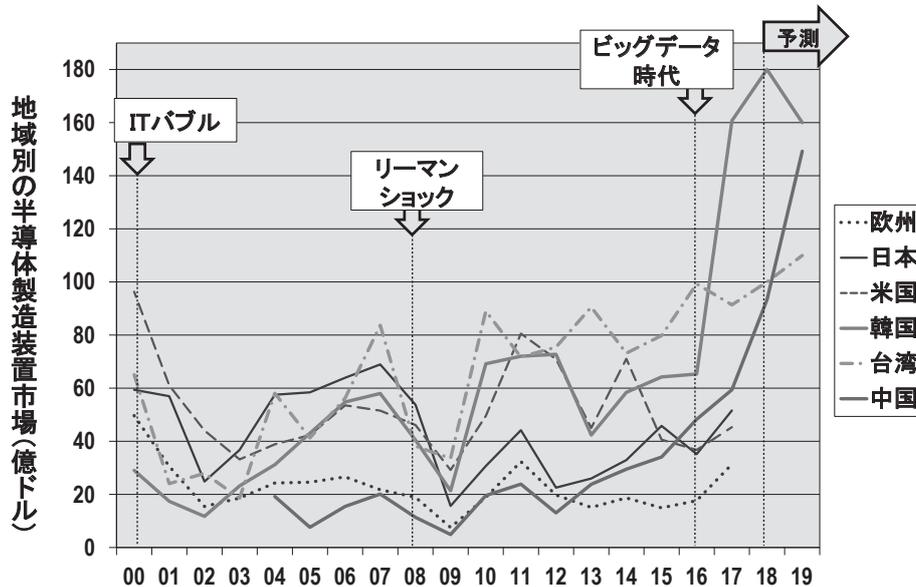


図6 地域別の半導体製造装置市場（前工程）

出所：電子ジャーナル『半導体製造装置データブック』および「World Fab Forecast」のデータを基に作成

そして、韓国は、ビッグデータ時代を迎えた2016年以降、装置市場が飛躍的に拡大している。これは、サムスン電子が3次元NAND等のメモリに巨額投資を行い、装置を買い占めていることに起因している。2018年以降は、韓国の装置市場が低下するとWorld Fab Forecastが予測しているが、その通りになるかどうかは分からない。

さて、問題の中国であるが、2012年以降、装置市場が増大し、2017年には、韓国および台湾に次ぐ第3位の市場規模に躍り出た。さらに、World Fab Forecastの予測では、2019年に台湾を抜き、韓国に迫る市場規模になる見込みである。

ここで、中国の統計データが示され始めた2004年の各国の装置市場を「1」と規格化して、その後の成長率をグラフにしてみた（図7）。

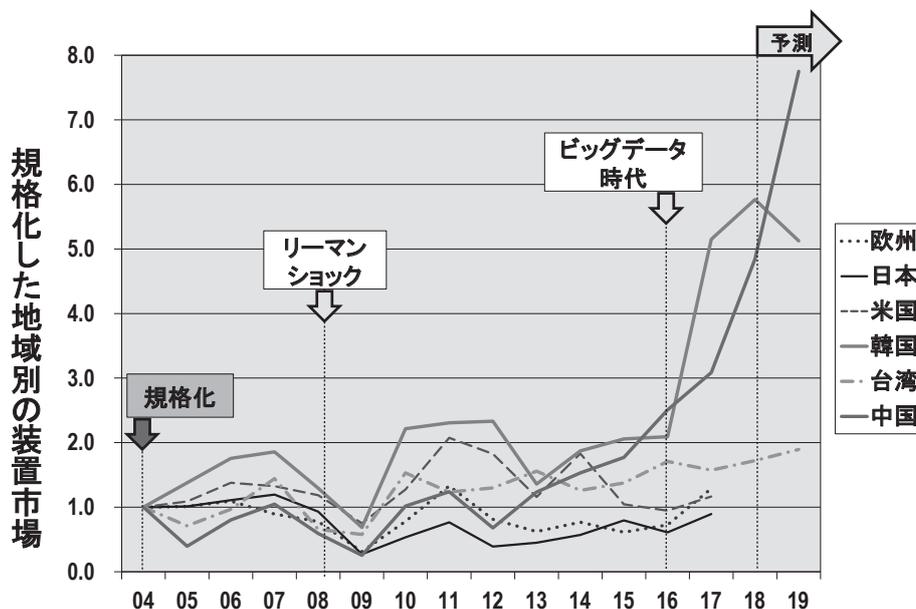


図7 2004年で規格化した地域別の装置市場（前工程）

出所：電子ジャーナル『半導体製造装置データブック』および「World Fab Forecast」のデータを基に作成

2017年までの成長率1位は韓国で、5.15倍になった。2位が中国の3.08倍、3位が台湾の1.57倍である。そして、World Fab Forecastの予測値を基にすれば、2019年の上位3ヶ国の成長率は、韓国が5.12倍に若干低下し、台湾が1.89倍に成長し、中国は何と7.75倍に成長することになる。

つまり、もし、この勢いで中国が成長して行けば、2020年には前工程の装置市場で、中国が最大規模になるということだ。製造装置の市場規模と半導体の生産量は、大まかに言えば比例関係にあると考えられる。“生産量”という微妙な言い方をしたのは、売上高は販売価格に大きく影響されるからである。

しかし、上記のような猛烈な勢いで中国がファブを建設し、装置を導入して行けば、そう遠くない将来、中国の半導体生産（生産量も売上高も）が世界一になるだろう。

### 1-6 半導体製造装置の市場—後工程編—

前工程でシリコンウエハ上にチップを形成したら、次は後工程で、ウエハを薄化し（グラインディング）、チップに切り分け（ダイシング）、パッケージングし、テストすることになる。

その後工程装置の地域別市場の推移を見てみよう（図8）。リーマン・ショックの影響が薄れた2010年以降、台湾と中国が市場規模1位を争うようになる。2012年に中国は一時的に韓国に抜かれて3位に転落するが、その後、再び盛り返し、2017年には、とうとう台湾を抜いて後工程市場規模で1位になってしまった。

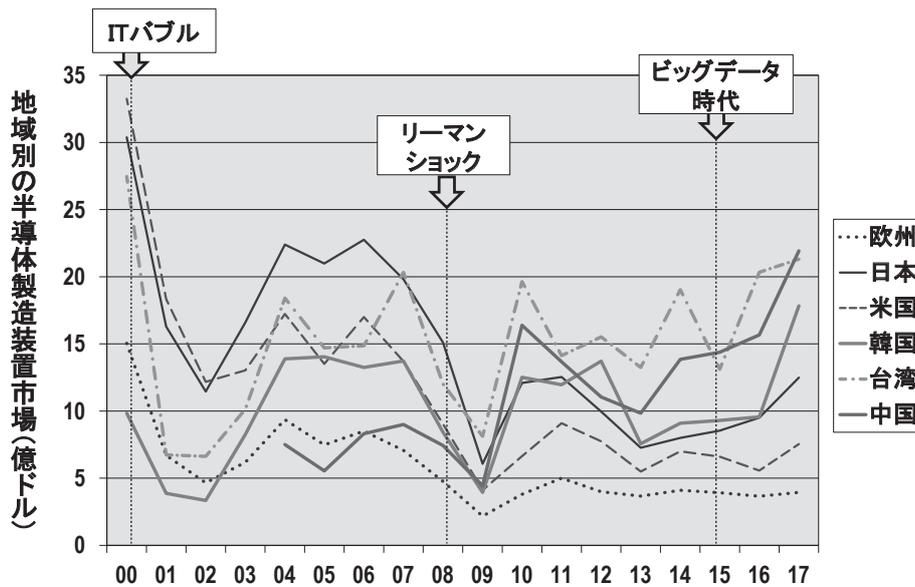


図8 地域別の半導体製造装置市場（後工程）

出所：電子ジャーナル『半導体製造装置データブック』および筆者の調査結果を基に作成

前工程装置と同様に、2004年の各国の後工程市場を「1」と規格化して、その後の成長率をグラフにしてみた（図9）。その結果は、解説の必要もないだろう。中国の後工程装置市場の成長は圧倒的であり、2017年には2.92倍になった。中国市場の飛躍的な成長の前では、他の地域の成長が止まって見えるほどだ。

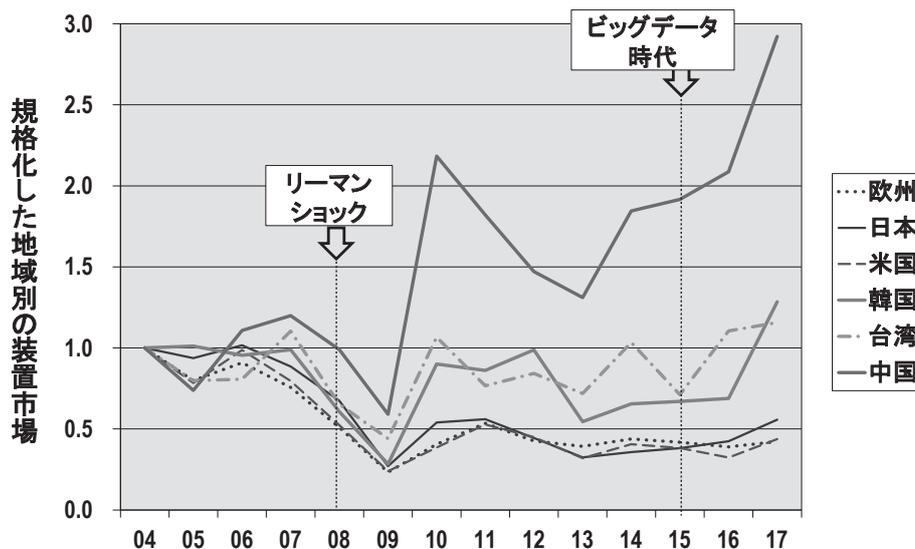


図9 2004年で規格化した地域別の装置市場（後工程）

出所：電子ジャーナル『半導体製造装置データブック』および筆者の調査結果を基に作成

後工程を専門に行う半導体メーカーを OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Test) と呼ぶ。その 2017 年の売上高ランキングと、前年からの年間成長率を表 1 に示す。米国籍の Amkor とシンガポール籍の UTAC 以外は、ほとんどが台湾と中国に占められていることに、いまさらながら驚く。

ここで、3 位の JCET、6 位の TSHT、7 位の TFME は、中国企業であり、3 社すべてが二桁の成長率を記録している。また、1 位の ASE (台湾)、2 位の Amkor (米国)、4 位の SPIL (台湾)、8 位の KYEC (台湾) は、それぞれ、中国に工場を持っている (中国への寄与の割合は分からないが)。

表 1 から言えることは、第一に中国の OSAT の成長率が高いこと、第二に中国と台湾が OSAT の 2 大拠点であることである。

表 1 OSAT の 2017 年売上高ランキング・トップ 10

ランク	企業名	国籍	売上高(億ドル)	年間成長率
1	ASE	台湾(中国工場あり)	52.07	6.4%
2	Amkor	米国(中国工場あり)	40.63	4.3%
3	JCET	中国	32.33	12.5%
4	SPIL	台湾(中国工場あり)	26.84	2.2%
5	PTI	台湾	18.93	26.3%
6	TSHT	中国	10.56	28.3%
7	TFME	中国	9.10	32.0%
8	KYEC	台湾(中国工場あり)	6.75	8.3%
9	UTAC	シンガポール	6.74	-2.2%
10	ChipMOS	台湾	5.96	4.9%

### 1-7 中国が半導体大国への道を驀進中

表 2 に中国の半導体産業の全貌をまとめた。中国は、18 兆円もの国家 IC 基金を基に、半導体工場が建設ラッシュとなっている。工場ができれば、製造装置を導入することになる。前工程装置市場で中国は、韓国、台湾に次ぐ 3 位になり、2019 年には、1 位の韓国に追いつく勢いである。また、後工程装置市場では、台湾を抜いて 1 位になった。その成長率は圧倒的であり、今後も 1 位の座に君臨するであろう。

また、中国には 2016 年時点で 1362 社ものファブレスがあり、最先端のプロセッサを設計できる技術力を持つ企業も現れた。さらに、長期間低空飛行を続けてきたファンドリーの SMIC が、元 TSMC、元サムスン電子

の辣腕経営者をスカウトした。また、ホンハイとシャープが1兆円規模のファンドリーを建設することになった。ファブレスとファンドリーが相乗効果を生んで、プロセッサやSOCの売上高が飛躍的に増大する可能性がある。

1362社もあるファブレス、長江ストレージの3次元NANDと3カ所で建設される予定の巨大DRAM工場、そしてファンドリーでは大物経営者をヘッドハントしたSMICと1兆円の工場を建設するホンハイとシャープ。

中国が世界最大の半導体消費国であることを考慮すると、この勢いが続けば、半導体の設計、製造、アセンブリ、全てにおいて半導体大国になる日は近い。紅色半導体が世界を席卷する日がやってくるかもしれない。

しかし、それに待ったをかけたのが、トランプ大統領率いる米国である。

表2 中国半導体産業の全貌

	ファブレス	ファンドリー	メモリ		OSAT
			3次元NAND	DRAM	
企業動向	企業数が5年で500社から1300社へ増大	SMICが大物をヘッドハント ホンハイが1兆円の工場建設	紫光集団傘下のYMTCが16年に参入	3社が最先端1Xnmへ参入を表明	トップ10にランクされる3社の成長率が二桁増
技術、工場、装置導入の動向	ファーウェイ傘下のハイシリコンが10nmのSOCを設計	2020年までに16/14nmを大量生産の予定	32層をサンプル出荷、64層の開発に着手 月産10万枚の第1棟が完成	イノトロンとJHICCが月産10万枚の第1棟に装置を導入中	装置導入で台湾を抜いて世界1位になった

## 2. 米中ハイテク戦争

12月1日、米国から要請を受けたカナダがファーウェイの孟副会長を逮捕し、12月10日に中国がカナダ人2人を拘束した（12月19日に3人目のカナダ人拘束が報じられたがファーウェイとは無関係の模様である）。これらは、米中ハイテク戦争の一環であると筆者は理解している。その米中ハイテク戦争の全貌を、図10および図11を用いて説明する。

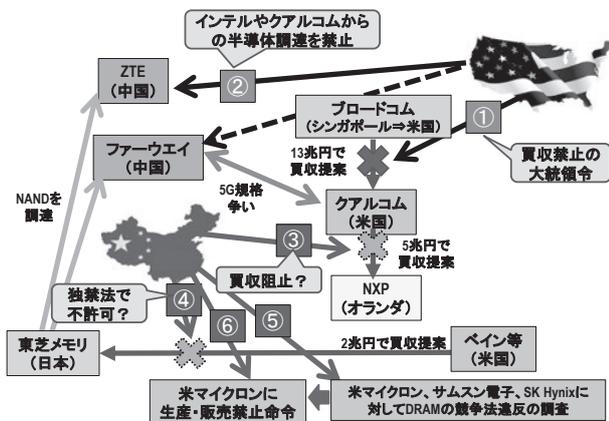


図10 米中ハイテク戦争（その1）

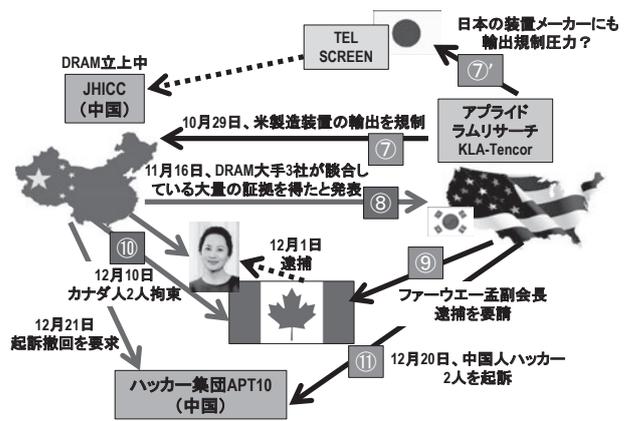


図11 米中ハイテク戦争（その2）

### ①米国がブロードコムによるクアルコム買収を禁止

現在のブロードコムは2016年に、シンガポールに本社があるアバゴ・テクノロジーが、通信半導体を主力ビジネスとするファブレスの米ブロードコムを370億ドルで買収した会社であり、その本性は中国企業である。

そのブロードコムが2017年11月、やはり通信半導体に強いファブレスの米クアルコムに対して約13兆円の買収提案を行った。このとき、クアルコムと中国最大のスマホメーカーのファーウェイが、次世代通信5Gを巡って規格争いをしていた。それ故、クアルコムがブロードコムに買収された場合、5Gの通信規格を中国側に牛耳られる危険性があると、米国側が判断した。その結果、2018年3月12日に、この買収を米国が「大統領令」により阻止した。

#### ②米国がZTEに対して輸出規制

次に、米商務省は2018年4月16日、中国のスマホメーカーZTEに対して、インテルやクアルコムの半導体の輸出を7年間禁止する決定を下した。その理由は、ZTEが2010年から2016年に掛けて、米国の輸出規制に違反し、イランや北朝鮮にスマホ等の通信機器を輸出していた容疑による。その結果、ZTEは操業停止に追い込まれた。

#### ③中国がクアルコムによるNXP買収を阻止

米国から2発ビンタを食らった中国は反撃に転じた。クアルコムは2016年10月に、オランダの社債半導体を主力ビジネスとするNXPセミコンダクターを約5兆円で買収すると発表し、両社は合意していた。ところが、中国商務省がこの買収に待ったをかけたため、クアルコムはこの買収を断念せざるを得なかった(2018年7月25日)。これは明らかに、米国に対する中国の嫌がらせである。中国が米国へ一発ビンタを張りかえしたのだ。

#### ④米ベイン等による東芝メモリの買収に中国が難色

米国が2発ビンタを張り、中国が1発お返しした頃、米ベインキャピタル率いる日米韓連合による東芝メモリの買収が進められていた。これに対して中国は、独禁法に抵触するとして、買収を認めない態度を取り始めた。

というのは、東芝メモリのNANDの多くは、中国のスマホに搭載されている。ところが、ベイン等に買収されると、その連合の中の米アップルや米デルが東芝メモリのNANDを独占し、ファーウェイやZTEへのNANDの供給を制限する可能性があったからだ。

ここで、米国トランプ大統領と中国習金平国家主席の間で、「米国がZTEへの制裁を解除する代わりに、中国は米ベイン等による東芝メモリの買収を認める」というような政治取引がなされた模様である。その結果、ZTEへの米国の制裁は解除され、ベインによる東芝メモリの買収は完了した。

#### ⑤中国がDRAM大手3社に独禁法容疑

ここまで、ビンタの数は米国2に対して中国1である。それ故、中国は沽券にかけて、何とせよもう1発張り返す必要があった。そこで中国は2018年5月、サムスン電子、SK Hynix、マイクロンに対して、DRAMの独禁法の容疑で調査を開始したと発表した。実際、上記3社が市場シェア96%を独占しており、DRAM価格は1年半の間に約2.5倍に高騰していたからだ。

DRAM大手3社は、「供給が需要よりちょっと足りない状態にしておくのが価格が高騰して快適だよ」というように阿吽の呼吸で生産調整をしていた。決して3社が集まって密談などしていなかった。したがって、中国がどれだけ調べても談合の証拠は出てこなかった。しかし、中国は、振り上げた拳をどこかに持っていかなくてはならなかった。

#### ⑥マイクロンに中国での生産・販売停止命令

ここで中国は、マイクロンと中国企業が、DRAM技術の流出を巡って複数の裁判を起こしていることに着目した。

現在、中国では、イノトロンおよびJHICCが、それぞれ、月産10万枚規模の先端DRAM工場を立ち上げて

いる。JHICCには、台湾のファブリーUMCが技術提携している。上記2社に対して、マイクロンは2017年、DRAM技術を盗んだとして提訴している。一方、JHICCに協力しているUMCは2018年1月、マイクロンが中国で特許を侵害したとして、中国の裁判所に提訴していた。

そこで、中国の裁判所はUMCの主張を全面的に認め、2018年7月3日にマイクロンに対して、約30品目の半導体メモリ製品の生産・販売差し止めを命じた。

マイクロンの中国向けビジネスは年々増加しており、2017年には全売り上げの51%に達していた。普通、売上の半分が吹っ飛ばせば企業は倒産する。それ故、世界半導体業界には、「マイクロン倒産か!」という激震が走った。

ただし、この判決は噴飯ものである。というのは、中国はこれまでDRAMを1個も生産したことがない。また、UMCのDRAM技術はせいぜい65nm程度であり、マイクロンが生産しているIXnmDRAMの最先端技術はない。つまり、イントロンにもJHICCにもUMCにも、マイクロンが盗むに値する技術はない。したがって、どうみてもDRAM技術を盗んでいるのは中国企業であり、マイクロンは被害者である。ところが、マイクロンは盗人から逆提訴され、中国でのDRAM等の生産・販売中止を命じられたわけだ。何という理不尽な判決であることか。

しかし、このまま行くとマイクロンは倒産するかもしれないと思っていたら、マイクロンは、「影響を受ける製品の規模はマイクロンの年間売上高の約1%にとどまる」という見解を発表した。「本当か?」と首をかしげていたら、中国の裁判所が生産・販売を中止した約30品目には、単品のDRAMやNANDが含まれていないという。30品目のほとんどが、マイクロンが独自に生産しているモジュール製品であるらしい。そして、その総額は全売上高の1%に過ぎないということである。

よくよく考えてみると、マイクロンにDRAMやNANDの生産・販売を停止されたら、困るのは“世界の工場”となったホンハイである。自分で自分の首を絞めるようなことを、中国が行うわけがない。

結局、この判決の本質は、中国が沽券にかけて米国に2発目のピンタを張らなくてはならなかったことにある。そこで、噴飯ものの判決を出し、世界を驚かせたのだ。中国は、かろうじて沽券を維持したことになる。

#### ⑦中国のJHICCへ米製造装置の輸出を禁止

米商務省は10月29日、中国で月産10万枚規模の先端DRAM工場を立上中のJHICCに対して、米国製の製造装置の輸出を規制すると発表した。これにより、アプライドマテリアルズ、ラムリサーチ、KLA-Tencorの製造装置の輸出ができなくなった。

上記の製造装置は、日本の製造装置で代替できるものも一部はあるが、その多くが代替できない。その結果、JHICCはDRAMの開発と製造が事実上、できなくなる。

米国は、日本にも中国に輸出しないよう圧力をかけてきている噂もある。しかし、それ以前に、米国の製造装置が導入できなければ、JHICCのDRAM工場は稼働できないので、東京エレクトロンやスクリーンなどの日本の製造装置メーカーは、JHICCに装置を売っても無駄と判断している模様である。

#### ⑧米韓DRAM企業が談合を行っている証拠を見つけたと中国が発表

中国は、サムスン電子、SK Hynix、マイクロンのDRAM企業に対して2018年5月、談合の容疑で捜査を開始したが、その後、しばらく音沙汰無かった。ところが、中国の独占禁止法当局は11月16日、上記3社が競争を阻害する行為を行った「大量の証拠」を発見したと発表した。

しかし、どのような「大量の証拠」が見つかったかは、1ヶ月以上経っても、何も開示されていない。中国が米韓DRAM企業を牽制しただけで、その「大量の証拠」などは無かったのではないかと疑い始めている。

#### ⑨カナダがファーウエーの孟副会長を逮捕

このように、米中がハイテク分野でピンタの応酬を繰り返す中、12月1日に、米国の要請で、ファーウ

エーの孟副会長がカナダで逮捕された。

⑩中国がカナダ人2人を拘束

そして、恐らく、ファーウエーの孟副会長逮捕の報復措置として、中国が12月10日、カナダ人2人を拘束した。

⑪米国が中国人ハッカー2人を起訴

米司法省は先端技術を盗み出した疑いで12月20日に、中国人ハッカー集団「APT10」のメンバー2人を起訴した。同集団は2016年ごろからサイバー攻撃を強めており、活動拠点は中国であるという。米政府は中国の情報機関である国家安全省の関与を指摘し、国家主導で世界規模のハッキングを画策したとみなしている。

一方、中国外務省は21日午前、「米国が事実を捏造し、言われ無き中国批判をしたことに断固反対する。起訴を撤回するよう強く求める」との談話を発表している（日経新聞12月21日）。

以上が、米中ハイテク戦争の全貌である。米国から要請を受けたカナダによる孟副会長の逮捕や、中国がカナダ人2人を拘束したこと、米国が中国人ハッカー2人を起訴したことなどは、米中ハイテク戦争の一環であると筆者は理解している。

このような米中ハイテク戦争の真っ只中では、ファーウエーは米国製の半導体を調達できないし、JHICCを始めとする中国で立上中の巨大半導体工場に米国製の製造装置を導入することもできないだろう。中国の半導体ブームは終焉を迎えるかと思われたが、中国は製造装置の国産化を急ピッチで進めていた。その水準は、筆者の想像を超えていた。

### 3. 中国の製造装置産業

#### 3-1 各製造装置の企業別世界シェア

図12に、製造装置毎の企業別世界シェアと市場規模を示す。以下に簡単に要点を述べる。

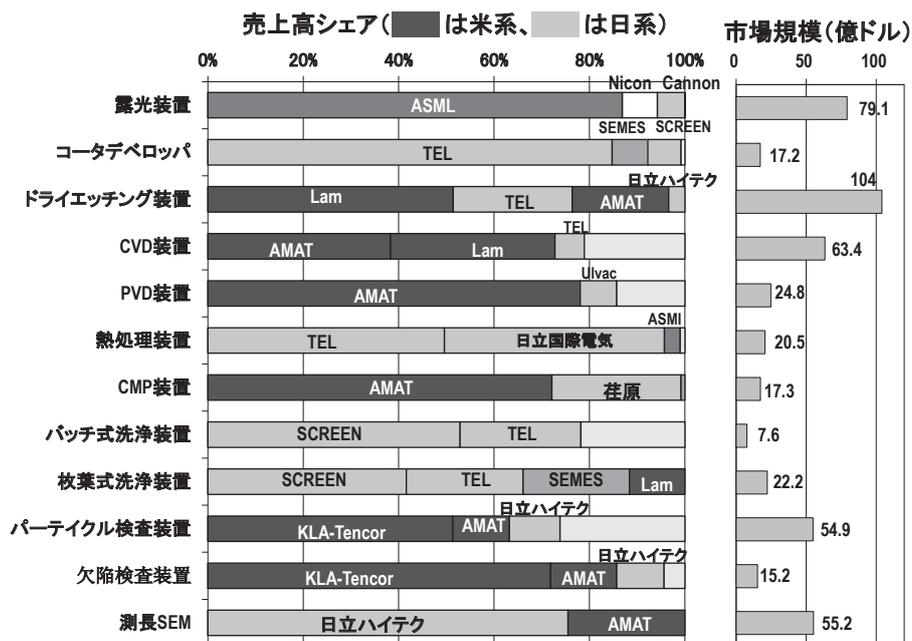


図12 製造装置の要素技術の市場規模と企業シェア (2017年)

出所：野村証券の和田木氏提供のデータを基に筆者作成

- ①露光装置では、オランダのASMLがシェア86.9%と市場を独占している。2018年から出荷が本格化したEUV（極端紫外線）露光装置を供給できるのはASMLしかないため、この分野はASMLの独壇場になる。
- ②レジストを塗布し、露光後に現像するコーター／デベロッパは、日本の東京エレクトロン（TEL）が84.8%のシェアを独占している。
- ③ドライエッチング装置では、米Lam Research（Lam）がシェア49.2%で1位、以下、TELが23.9%、Applied Materials（AMAT）が19.3%、日立ハイテクノロジーズが3.3%と続いている。
- ④CVD装置では、1位のAMATが38.3%、2位のLamが34.5%と僅差であり、3位のTELが6.2%となっている。
- ⑤PVD（スパッタリング）装置は、AMATがシェア78.1%と市場を独占し、日本のアルバックのシェアは7.6%しかない。
- ⑥ファーンレスと呼ばれる熱処理装置は、TELが49.6%、日立国際電気が46.1%と、日本の2社がシェアを独占している。
- ⑦CMP装置は、1位のAMATが72.1%、2位の荏原製作所が27.1%となっている。
- ⑧バッチ式洗浄装置は、日本のSCREENが52.9%、TELが25.3%となっている。
- ⑨枚葉式洗浄装置は、1位のSCREENが41.6%、2位のTEL24.5%、3位の韓国SEMESが22.3%、4位のLamが11.6%となっている。
- ⑩パーティクル検査装置は、1位のKLA-Tencorが51.3%、2位のAMATが11.9%、3位の日立ハイテクが11.7%となっている。
- ⑪パターン欠陥検査装置は、1位のKLA-Tencorが71.9%とシェアを独占し、2位のAMATが11.9%、3位の日立ハイテクが11.7%となっている。
- ⑫測長SEMは、日立ハイテクが75.5%とシェアを独占し、2位のAMATは24.5%となっている。

以上から分かることは、第一に、一部韓国メーカーがシェアを奪っている装置もあるが、ほぼ日米欧が独占していると言える。第二に、「1強+その他」、または、「2強」の状態にある装置が多い。つまり、各装置市場は、多くは日米欧の企業に寡占化されている。

そのため、米国が中国に対して「米国の製造装置は売らない」と規制し、さらに米国から日本に対して、「中国に装置を売るな」という圧力が加かったら、中国は大変困ったことになる。中国は、露光装置を除く、ほぼすべての製造装置を、日米から購入することができなくなるからだ。すると、「中国製造2025」の1丁目1番地にある半導体産業の強化が、無力化される。

これに対抗するには、中国が半導体製造装置を国産化するしか道はない。果たしてそれは、可能なのか？

### 3-2 中国の製造装置の現状と展望

#### ArF 露光装置を中国が試作？

一部の記事では、中国が製造装置の育成に本気になっていることを論じた上で、「ArF 露光装置の試作に入っているという情報もある」と報道されている。

これに筆者は仰天した。中国企業がドライエッチング装置やCVD装置などをデッドコピーしている話は10年位前から知っていた。しかし、製造装置の中でも、最も精密で高価な露光装置を中国が試作しているとは、俄かには信じられない思いがする

筆者が同志社大学に新設された経営学研究センターの専任フェロー（現在の特任教授のような職位）だった2003～2008年頃、東芝のリソグラフィ部門の東木達彦部長（当時）にヒアリングをしたことがある。

東木氏は、『露光装置とは、人類が生み出したもっとも精密で高価なマシンであり、「まさに“兵器”だ』と語った（日本ビジネスプレス2010年9月24日）。現在、市場シェア86.9%を独占しているASMLのArF液浸露光装置は、フルスペックで100億円と聞いている。

そのような露光装置を、中国が試作しているというのは本当なのだろうか？

### 中国製の露光装置の現状

中国に、Shanghai Micro Electronics Equipment (SMEE) という装置メーカーがある。SMEE の Web サイトには、i 線の露光装置「モデル SSB600/10」、KrF 露光装置「SSC600/10」、ArF 露光装置「SSA600/20」が、「Products」内にある「IC Area」のページに掲載されている（図 13）。これらは既に、SMIC などでも使われていると推測される。

そして、噂では、SMEE は、ArF 液浸露光装置を全力で開発している模様である。有識者によれば、「レンズなどの光学系がもっとも大きな課題であり、早ければ3年後、遅くとも5年後には、できてしまうかもしれない」という。

### エッチャー、CVD、PVD、熱処理装置、洗浄装置

露光装置以外の装置はどうなっているのだろうか。

中国の NAURA という装置メーカーの Web サイトにある「Semiconductor」のページには、「等离子刻蚀设备 Etcher」、「物理气相沉积设备 PVD」、「化学气相沉积设备 CVD」、「氧化扩散设备 Oxide/Diff」、「清洗设备 Cleaning Tool」、「紫外固化设备 UV Cure」などの装置が記載されている。

各装置の説明が中国語であるため、詳細は分からないが、相当多くの装置が中国には既にあると思って間違いないようだ。

では、これらの装置は、果たして本当に最先端の半導体の製造に使えるようになるのだろうか（または、なっているのだろうか）？ 筆者の知人の有識者に、意見を聞いてみた。

### ドライエッチング装置

エッチング工程は、ラフパターンを加工する工程と、微細パターンを加工する工程（クリティカル工程と呼ぶ）に分けられる。クリティカル工程としては、例えばロジック半導体では、3次元トランジスタ FinFET の微細なフィンの加工や微細メタル配線、メモリでは、3次元 NAND フラッシュの高アスペクト比のメモリーホールの加工などが挙げられる。

ドライエッチング装置の大手メーカーの社員によれば、中国の NAURA のような装置メーカーのドライエッチング装置では、ラフ工程の加工には対応できるかもしれないし、現在も使われている可能性は高い。しかし、クリティカルな工程を加工することは困難だろう。向こう10年間、無理ではないかという。

なぜ、最も精密な ArF 液浸の露光装置が3年から5年で開発できて、ドライエッチング装置は向こう10年無理かという、露光装置はハードウェアへの依存度が高いが、ドライエッチングではハードウェアを真似ても最適なプロセスを構築するのが困難だからだ。

プラズマという多体問題から最適解を得るために、十数以上のパラメータを調整し、それと同時に、エッチングチャンバの部品の形状や材料も最適化しなくてはならない。それ故、5~10年程度では、中国がクリティカルな工程用のドライエッチング装置を開発するとは思えないということである。

ところが、上海に本社を置く Advanced Micro-Fabrication Equipment (AMEC) という製造装置メーカーの HP には、ドライエッチング装置「Primo AD-RIE」が22nm以下の微細加工に対応できると掲載されている。もし HP 通りなら、現在の世界の最先端が10~7nmであることを考えると、かなり最先端に近い実力を有していることになる。すると、予想より早く、中国メーカーがクリティカルな工程に進出してくる可能性がある。

### PVD 装置

AMAT の社員によれば、スパッタ装置のキー技術は、超高真空を維持することと、ゴミの発生を抑制すること、に尽きるという。スパッタ装置の原理は簡単だが、上記二つのキー技術を満足させた装置は、そう簡単に

はできないだろう

しかし、これらの技術に精通した技術者が5~6人いて、数年あれば、量産に適用できる装置ができてしまうかもしれないという。AMATには、中国人が多いが、彼らが装置技術を体得した上で、中国に戻ってAMATの装置をデッドコピーする可能性がある。

AMATでは、出世が早いのは営業やマーケティングの社員であり、技術者があまり良い目を見ない。そのため、AMATの中国人技術者が、帰国して装置をつくる可能性は高いと言える。

#### CVD 装置

引き続き、AMATの社員に聞いてみたところ、比較的、厚い膜を堆積するCVD装置なら、開発するのはそんなに難しくないとはいう。

しかし、原子を一層ずつ製膜するALD装置の開発は、簡単ではない。ALDの概念自体は、50年以上前の発明であり、特許の問題はない。しかし、原子層レベルでの薄膜の成膜には、ガスの供給、温度コントロール、排気、などデリケートな制御が必要になる。したがって、キーパーソンが数人いたら3~5年できるかという、かなり難しいのではないかという。

#### CMP 装置

スパッタ、CVDに引き続き、AMATの知人によれば、CMPのキーとなる要素は、研磨パッドとスラリーの二つであるという。

この二つが入手できれば、または、開発できれば、CMP装置の量産適用は難しくないとはいえる。逆に言えば、研磨パッドとスラリーが何とかならない限り、CMP装置を開発することはできない。

特に、難しいのは、スラリーだろう。Cabot、フジミ、日立化成など、大手のスラリーメーカーは、その成分を一切公開しない。また、上記スラリーを入手して、成分を分析して、模倣しようとしても、うまくいかない。

したがって、中国にとっては、CMP装置の量産適用には、スラリーの開発がボトルネックとなると考えられる。しかし、CMPにも、ラフ工程とクリティカル工程がある。ラフ工程なら、現在の中国製装置やスラリーでもできるかもしれない。

ところが、上海にあるAnji Microelectronic（以下Anji）が、日米のスラリー大手の技術者をヘッドハントし、スラリーを開発しているという。そして、Anjiのスラリーは、TSMCでも採用されていると聞く。ということは、既に中国では、国産のCMP装置やスラリーで、最先端のCMPが実現できている可能性がある。

#### 検査装置

元KLA-Tencorの技術者によれば、SPIなど、パーティクル検査装置については、たぶん、既に中国でデッドコピーされ、中国製の装置が出回っているという。

しかし、パターン欠陥検査装置やマスク検査装置は、開発することは容易でなく、当分無理ではないかという。というのは、これら検査装置のレーザーやセンサーなどの重要部品については、KLA-Tencorとパーツメーカーがガチガチの契約を締結しており、他社、特に中国メーカーがその重要部品を入手することは不可能だからだ

したがって、予想では、向こう5年以上は、最先端のパターン欠陥検査やマスク検査装置を、中国が開発するのは無理だと思うということだ。

#### 洗浄装置

あるメモリメーカーの洗浄の専門家に聞いてみたところ、現在基本となっているRCA洗浄は、1965年に開発された。各半導体メーカーは、このRCA洗浄液を少しずつ改良・改善して使ってきたが、基本となる薬液は確立されている。それ故、バッチ式洗浄装置は、簡単につくることができるし、既に中国製の装置があると

いう。

一方、枚葉式洗浄装置も、単に洗浄するだけなら、既に中国製の装置があるという。中国製の枚葉式洗浄装置が、SCREEN や TEL に追いつくことができないのは、1枚のウエハを如何に少ない薬液で洗浄するか（COO（Cost of Ownership）の問題）と1時間当たりの処理効率（スループット）においてである。

しかし、COO やスループットを度外視し、単に洗浄して歩留りを出すだけでいいのなら、現在の中国製の装置で十分かもしれない。

中国製の NAND フラッシュや DRAM では、原価が売価を上回った場合、その赤字を中国政府が補填することになっていると聞く。すると、COO やスループットに劣る中国製の洗浄装置を使っても、チップさえできれば何の問題もないということになる。

### マスク描画装置

図 12 には記載がないが、露光装置を用いて半導体の集積回路を感光性材料のレジストに転写する際、集積回路の原版であるマスクが必要になる。そのマスクを形成するためのマスク描画装置では、日本のニューフレアテクノロジーが世界シェア約 80% を占めている。特に、先端デバイス用の電子ビーム描画装置の世界シェアは、同社が 96% を独占している模様である。

ところが、欧州の IMS Nanofabrication が中国に進出しようとしているという話を関係者から聞いた。先端デバイス用のマスク描画装置については、ニューフレアテクノロジーが一步も二歩もリードしており、そう簡単には追いつけないそうであるが、先端ではない半導体のマスク描画装置は、その限りではないという。しかも、いずれ中国企業が開発したマスク描画装置が登場するだろうと予測されている。

### 3-3 5～10年後の中国の製造装置業界

5年後、10年後、中国の製造装置業界はどうなっているだろうか？ ArF 液浸、CVD 装置、PVD 装置、CMP 装置、パーティクル検査装置、洗浄装置の各分野では、中国製の製造装置が、中国のメモリ工場やファンドリーで大量に使われている可能性がある。

一方、クリティカル工程用のドライエッチング装置、ALD 装置、パタン欠陥検査装置、マスク描画装置については、日米の装置に頼らざるを得ない状態が続いているかもしれない。

しかし、今後、製造装置の企業別シェアの争いの中に、中国企業が頭角を現すのは間違いない。中国は、「現状ではできない」となったら、高額年俸で日米欧の企業からキーパーソンを引き抜いてしまう（もう既に実行している）。また、場合によっては、丸ごと企業を買収してしまうかもしれないからだ。

## おわりにー中国半導体産業に対する米中ハイテク戦争の影響

世界最大の半導体消費国となった中国は、国家政策で半導体の自給率向上を目指している。そのために中国は国内に、半導体メモリやロジック・ファンドリーの最先端巨大工場を複数立ち上げようとしている。そして、それらのファブを稼働させるためには、日米欧が市場を独占している各種半導体製造装置を大量に導入することが必要不可欠である。

ところが、米中が激しいハイテク戦争を繰り広げており、その一環として、米国は中国への製造装置の輸出を規制し始めた。現在は、DRAM を立ち上げようとしている JHICC1 社に対する規制であるが、それ以外の中国企業にも規制の網は広がるかもしれない。

一方、中国は、製造装置の国産化を推進しており、現在、最先端から5年遅れ程度のところまで開発が進んでいる模様である。5～10年後には、最先端の要求を満たす製造装置が複数種類、開発されていてもおかしくない状況にある。

その際、米国が製造装置の輸出規制を強化した場合、それは一時的には、中国の半導体産業の進化を遅らせ

ることができるだろう。しかし、その規制が逆に、中国が国産の製造装置の開発を加速させる効果をもたらす可能性がある。その際、18兆円もあると言われている中国IC産業ファンドを使って、日米欧の製造装置メーカーのキーパーソンを、高額な待遇でヘッドハントするということが、もっと激しく行われるに違いない。

要するに、「中国製造2025」に基づいた半導体産業の振興策について、米中ハイテク戦争は、短期的なブレーキをかけることしか機能せず、中長期的に見れば、中国半導体産業の成長を止めることができないと思われる。10年後に紅色半導体が世界を席卷している—そんな時代が到来する予感がする。