

《日本半導体/製造装置メーカーの共進化/共退化現象》 露光装置シェアトップのASML その強さの源泉は速度と稼働率



㈱エフエーサービス 半導体事業部 技術主幹 湯之上 隆

露光装置の分野で、ニコンおよびキヤノンに代わって、蘭ASMLが世界シェアトップに立った。ASMLは、特に韓国・台湾では圧倒的なシェアを占めている。韓国・台湾半導体メーカーは、スループットおよび稼働率に関する高い水準を要求し、ASMLはその要求に応える装置を開発した。まず、ASMLは、i線からArF液浸まで、4種類の露光装置に共通なプラットフォームを考え出した。また、各露光装置を、モジュールに分割することにより、装置の機差を最小限にすることに成功した。これにより、圧倒的なスループットと稼働率を実現している。ASMLは、次世代EUVL開発においても、「価格がArF液浸の2倍なら、スループットも2倍以上にする」ことを目標にしているという。

シェアトップに立ったASMLの露光装置

2001年以降、アジアでの露光装置の売上高が急拡大している（図1）。それと同時期に、露光装置の世界シェアで長らく王座に君臨していたニコンに代わって、蘭ASMLがシェアトップに立った（図2）。ASMLの露光装置が、急拡大したアジア市場のシェアを独占したことが、ASML躍進の原動力になっている。すなわち、ASMLは、Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC) や韓国Samsung Electronicsと共進化したと推測できる。

では、ASMLはどのようにしてTSMCやSamsungと共進化できる露光装置を開発したのか？ 装置メー

カーに所属している筆者の知人によれば、半導体メーカーからの装置メーカーへの要求に関して、日本と、韓国および台湾とでは、大きな違いがあるという（図3）。日本半導体メーカーが、微細性と精度を強調するのに対して、韓国および台湾半導体メーカーは、スループットと稼働率を特に強調するとのことである。

ASMLが、ステージを2つ持つ「TWINSKAN」と呼ばれる露光装置を開発した背景には、上記のような韓国および台湾メーカーからのスループット向上に対する強い要求があったからだと考えられる。

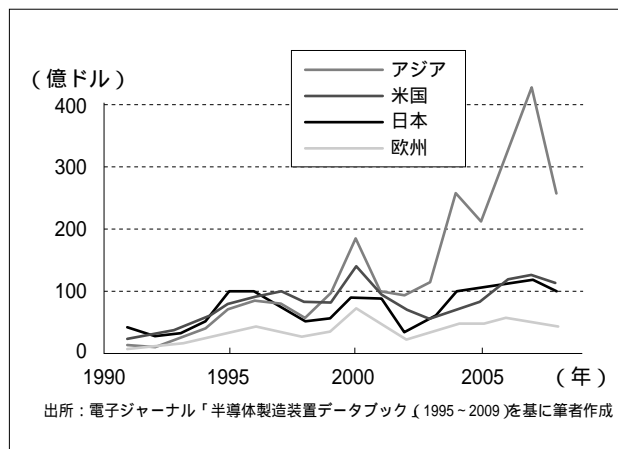


図1 地域別露光装置の売上高

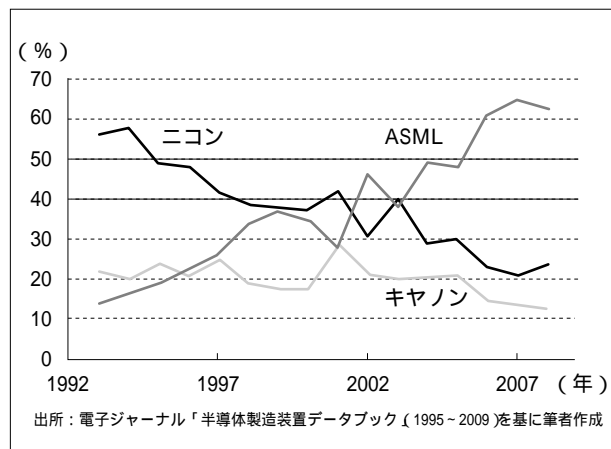


図2 露光装置の世界市場シェアの推移

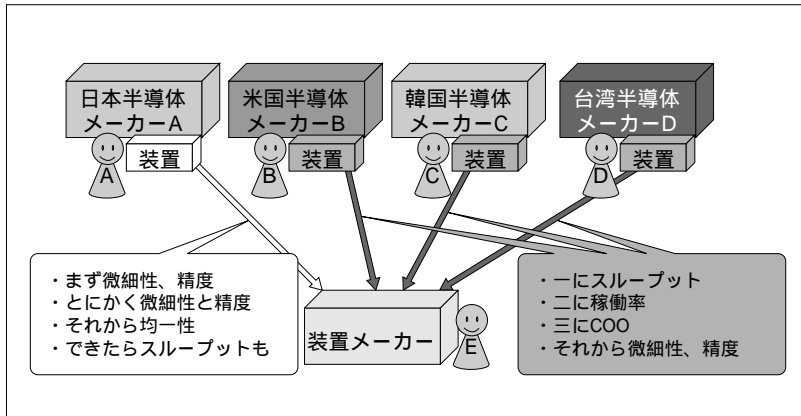


図3 装置メーカーへの要求の優先順位

	ASML 「TWINSCAN XT:1900Gi」	ニコン 「NSR-S610C」	キヤノン 「FPA-7000AS7」
解像度	40nm	45nm	45nm
重ね合わせ精度	6nm	6.5nm	6nm
スループット	131枚/h	130枚/h	記載なし

遜色ない?

図4 各社のArF液浸露光装置の比較

ここで、各露光装置メーカーの最先端露光装置（ArF液浸）のカタログスペックを比較してみよう（図4）。スループットに注目すると、キヤノンは不明だが、ASMLとニコンのスループットは、数値的にはほぼ等しい。しかし、ASMLとニコンの露光装置を同時立ち上げたリソグラフィ技術者の証言によれば、ASMLとニコンの装置には大きな差があるという。その差とは一体何か？

ASMLのファブ見学

2007年夏、その回答を求めて、ASMLのファブ見学を行った。ASMLのファブは、100程度のセル（部屋）から構成されている。1つのセルで、1台の露光装置が組み立てられていく。このファブでは、i線、KrF、ArFドライ、ArF液浸の4種類の露光装置が組み立てられていた。

驚いたことが2つある。まず、どの露光装置もほ

とんど同じように見えたことだ。そのことを質問すると、「4種類、全て同じプラットフォームだ」という答えが返ってきた。次に驚いたことは、世界一高価な、世界一精密な装置を組み立てている割には、随分人が少ないということだ。そこで、1台を何人で組み立てているのかと質問すると、何と、「One guy」との答えだった。

恐らく、ASMLはトヨタ自動車のセル生産方式を採用していると思われる。また、露光装置を、土台、ステージ、レンズ系、光源などのモジュールに分割している。各モジュールは、専門の外部メーカーが製造する。例えば、レンズ系は独Carl Zeissが作る。ASMLでは、外部で作られたモジュールのアセンブルを行う。案内者の話によれば、露光装置の85%は社外で作られ、ASMLが行うのは残りの15%だという。ASMLとは、極論すれば、“アSEMBルメーカー”であるとも言える。そのアSEMBルする様は、

まさに“積み木”のようである。だから、「One guy」で十分ということだ。

ASLMの設計思想

ムーアの法則で知られる通り、半導体デバイスは、3年で4倍集積度を増大させてきた。それとともに、素子は70%に微細化されてきた。また、Siウェーハは100mmから300mmへと大口径化した。このような技術の変わり目に、装置メーカーは、より高精度な装置を開発し、提供してきた。筆者の知る限り、ほとんどの装置メーカーは、そのたびに、新たな装置をゼロから作っていたのではないかと思われる。例えば、プラズマを使う成膜装置やドライエッチング装置は、ウェーハが大口径化するたびに、莫大な開発投資を行って、これまでとは全く異なる新規装置を提供してきた。日本の露光装置メーカーも、そのように新装置を開発し

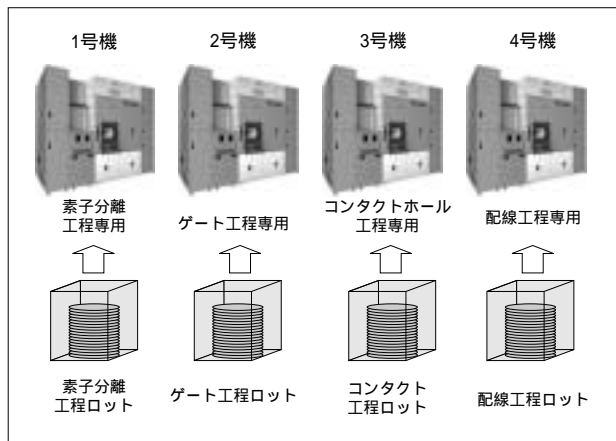


図5 機差が大きい露光装置を量産工場を使う場合

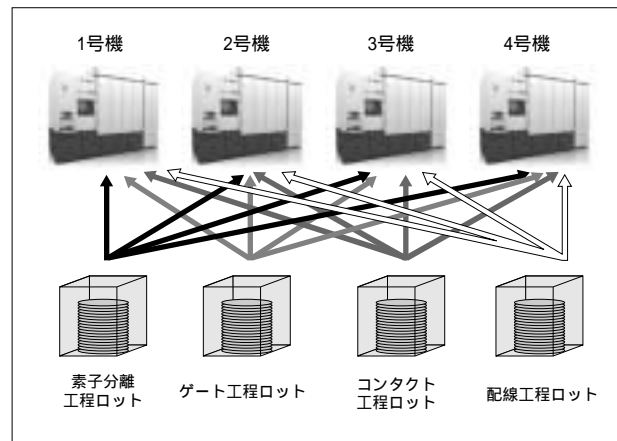


図7 機差の小さな装置を使った量産工場

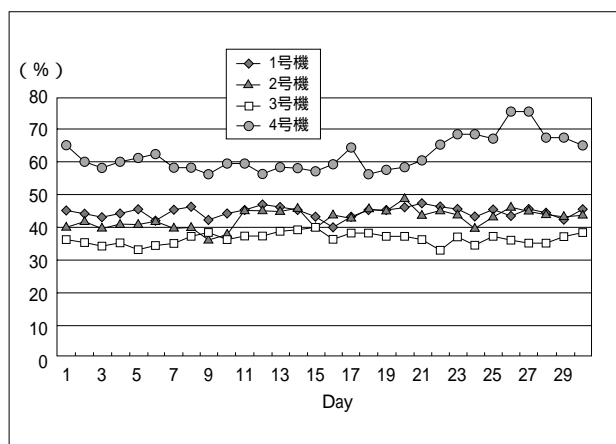


図6 ある日本の量産工場での露光装置稼働率

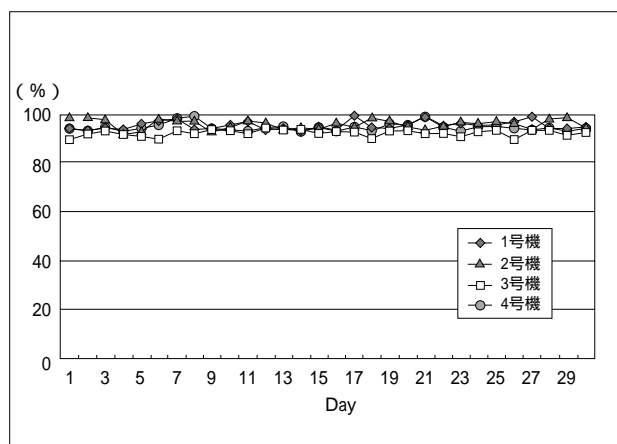


図8 あるアジアの量産工場での露光装置稼働率

てきたのではないかと?

このような半導体装置業界の中で、ASMLの装置開発戦略は、極めて異色かつ合理的である。ASMLの強さの秘訣は、i線の露光装置を設計する際、その後10年以上にわたって通用するプラットフォームを構築したことにある。つまり、ASMLの今日の隆盛は、最初の“極めて卓越したアーキテクチャ（設計思想）”によるところが大きい。

機差が小さいASLMの露光装置

このように、モジュール化し、共通プラットフォームで作られるASMLの露光装置の特徴は、装置ごとの差（機差）が小さいことである。例えば、何万台も大量生産される自動車であっても、当たり外れがある。露光装置は、自動車とは比較にならないほど、デリケートで精密な装置である。従って、同じ装置を作ったつもりでも、1台1台、違

いが出てもおかしくない。実際に、半導体メーカーのリソグラフィ技術者の証言によれば、「ニコンおよびキヤノンの露光装置には“顔”がある」という。つまり、1台1台、個性がある。すなわち、機差が大きいのである。予想するに、ニコンやキヤノンの設計思想および製造方法は、ASMLとは、随分違うのではないかと？ あくまで関係者の話からの想像であるが、宮大工の職人芸方式で製造されているのではないかと？

機差が小さいか大きいのか、これが半導体生産にどのように影響するのか？ まず、機差が大きい装置の場合。筆者がかつて所属していた日立製作所もそうであったが、工程ごとに専用装置化する（図5）。例えば、1号機は素子分離工程専用、2号機はゲート工程専用というように。装置が空いていると言っても、指定された工程以外のウェーハを処理することはできない。ある工程専用調整さ

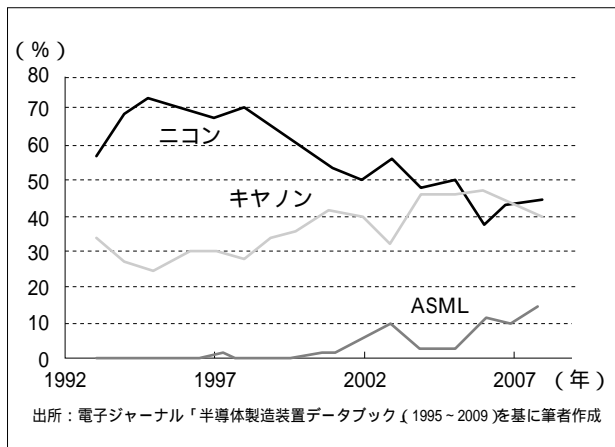


図9 露光装置の日本市場シェアの推移

れているからだ。その結果、装置の稼働率は、せいぜい50%程度になってしまう(図6)。

一方、機差が少ない装置の場合はどうなるか？工程ごとに専用機化する必要はない(図7)。従って、どの工程のロットであっても、どの装置に処理させても構わない。その結果、稼働率は高くなる。TSMCやSamsungでは、95%以上の稼働率を維持しているという(図8)。TSMCやSamsungは、このようにして、高スループット、高稼働率により半導体デバイスを量産し、高収益を叩き出していたのである。

日本の露光装置市場

スループットと稼働率に優れたASMLの露光装置の世界シェアは、ニコンやキヤノンを凌駕し、60%を超えるまでになった。特に、台湾および韓国市場では、圧倒的なシェアを持つようになった。

ところが、ASMLの露光装置が売れない国が1つだけある。それは日本である。図9に示すように、2000年までは、ASMLの日本市場におけるシェアはゼロであった。2006年になって、ようやく10%に達したが、世界市場の動向とは、随分と様子が異なる。何故、日本市場ではASMLの露光装置が売れないのか？何故、日本半導体メーカーは、ASMLの露光装置を導入しないのか？ASMLの方がスループットおよび稼働率が優れているにもかかわらず、日本半導体メーカーが、ニコンおよびキヤノンに固執する理由は何か？

ここに日本半導体メーカーの病気が見え隠れする。日本半導体メーカーは過剰技術で過剰品質を

追求してきた。しかし、コスト意識は希薄であった。このことが、装置メーカーに対する要求に現れている。コストに最も大きく影響する露光装置の特性は、スループットと稼働率である。コストに敏感な台湾や韓国は、これらを最も重要視した。一方、コスト意識の低い日本半導体メーカーでは、その優先順位が低かった。その反面、微細性と精度の要求だけは高い。日本半導体メーカーからこのような要求を受け続けてきたニコンやキヤノンは、結果的に、スループットや稼働率を軽視した装置作りを行ってきたのではないかと。そして、台湾や韓国メーカーからの要求に応えられなかったために、シェアを失い、ASMLに敗北したのではないかと。日本半導体メーカーと露光装置メーカーが“共退化”してしまった原因は、このようなところにあると考えられる。

EUVLの勝負の行方

現在の最先端露光装置は、ArF液浸である。次世代の露光装置としては、高屈折率液浸ではなく、EUVリソグラフィ(EUVL)が有力視されている。ただし、EUVLの露光装置には、様々な課題が山積しており、量産装置の実現までの道のりは厳しいものがある。ところが、EUVLの開発においても、ASMLと日本露光装置メーカーの間では、大きな差があるようである。

半導体先端テクノロジーに導入されているニコンのEUVL実験装置「SFET(Small Field Exposure Tool)」に関する研究発表において、「スループットは、ArF液浸と同じ130枚/hを目標としたい」という発言があったと聞く。

一方、米ニューヨーク州立大学(SUNY)のCollege of Nanoscale Science and Engineering(CNSE)に設立されたAlbany NanoTech、およびベルギーIMECにEUVL実験装置の機(ADT:Alpha Demo Tool)を導入しているASMLは、「EUVLの価格はArF液浸の倍になる。従って、スループットは、ArF液浸の倍以上の300枚/hを実現したい」と発言したという。

300枚/hというスループットの実現は、極めて困難な課題であろう。ASMLがこれを実現できるかどうかはわからない。しかし、目標に挙げなければ実現可能性は間違いなくゼロであると言える。