

《日本半導体/製造装置メーカーの共進化/共退化現象》 ドライエッチング制覇を狙うLam Etch/Ashの連続処理を可能に



㈱エフエーサービス 半導体事業部 技術主幹 湯之上 隆

ドライエッチング装置の世界市場で米Lam Researchがシェアトップに立った。Siおよびメタル用装置では、Lamが独走している。絶縁膜用装置では、長らく東京エレクトロン（TEL）がトップに君臨していたが、2001年以降、Lamのシェアが急拡大し、TELを猛追している。Lamは、300mm Cu/Low-k対応の絶縁膜用装置として、Etch/Ashの連続処理が可能な新装置「2300 Exelan Flex（エクセラン）」を開発した。プラズマが壁に接触しない「Exelan」は、Cuデュアルダマシン配線加工において、飛躍的な生産性向上を実現した。その結果、Lamは韓国や台湾市場で大きくシェアを伸ばした。一方、日本市場では、いまだLamのシェアは低い。ここにも、日本半導体メーカーと日本装置メーカーの“共退化”現象が窺える。

ドライエッチング装置の世界市場シェア

米Applied Materials（AMAT）、東京エレクトロン（TEL）、および米Lam Researchの3社が激しいシェア争いを繰り広げてきたドライエッチング装置の世界市場において、Lamがトップに躍り出た（図1）。加工材料ごとのシェアを見てみると、Si用装置（図2）およびメタル用装置（図3）においては、Lamが他社を大きく引き離して独走態勢を築きつつある。

一方、絶縁膜用ドライエッチング装置においては、長らくTELが圧倒的なシェア1位に君臨しており、Lamのシェアは低迷していた。ところが、2001

年以降、Lamのシェアが急拡大し始めた（図4）。2008年時点では、TEL 53%、Lam 35%であるが、その差は急速に縮まりつつある。このままLamがシェアを拡大してTELを逆転すれば、Si用、メタル用、および絶縁膜用と、3部門全てにおいてトップシェアを獲得することになる。

絶縁膜用装置で低迷が続いていたLamが、このようにシェアを拡大できたのは、何故なのか？

ドライエッチング技術のキーポイント

ドライエッチングとは、真空チャンバ中で、Si、

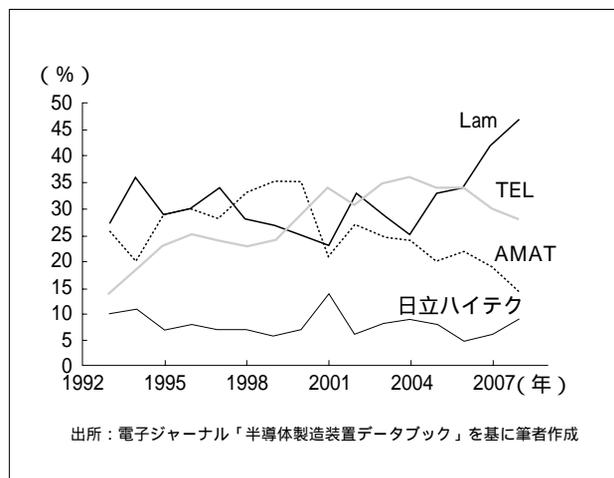


図1 ドライエッチング装置の世界市場シェア

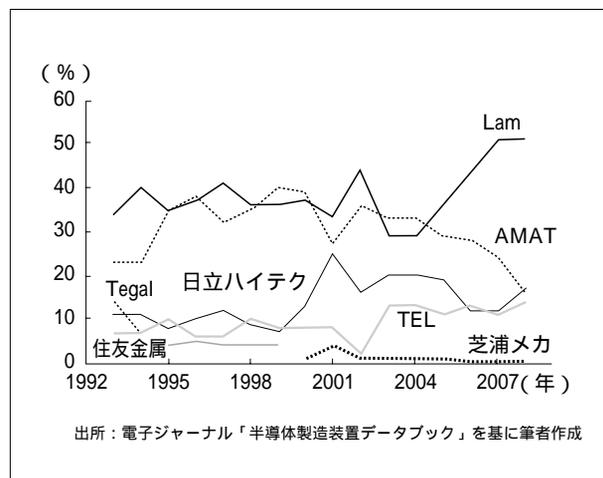


図2 Si用ドライエッチング装置の世界市場シェア

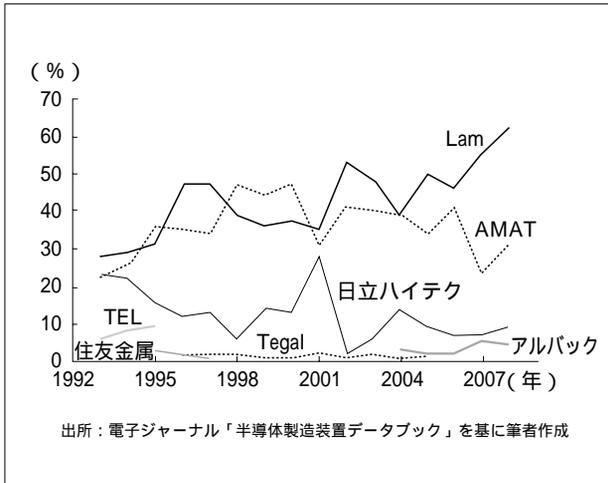


図3 メタル用ドライエッチング装置の世界市場シェア

メタル、絶縁膜などの固体材料を、プラズマ中のイオンや活性粒子との化学反応によって、蒸気圧の高い物質に変え、揮発させて排気する加工技術である。この揮発性物質を反応生成物と呼ぶ。この反応生成物は、真空ポンプによって排気される。しかし、排気される前に、真空チャンバの内壁などに衝突した反応生成物は、気体から固体に逆戻りして、チャンバの内壁に付着する。

半導体の量産工場においては、1台のドライエッチング装置が、1日に、Siウェーハの枚数にして数百～1000枚もの加工を行う。半導体の量産においては、同じ装置で同じ条件であれば、同じ精度の加工ができることが必要である。加工速度や均一性などの加工特性を一定に保ち、安定したドライエッチングを行いつけるためには、壁に付着する反応生成物の制御をどう行うかがキーポイントとなる。

Lamが開発した絶縁膜用ドライエッチング装置は、この反応生成物の制御方法に斬新な工夫があった。

2001年に変革期を迎えた半導体技術

Lamの開発した装置について説明する前に、半導体技術史の中で、Lamのシェアが増大し始めた2001年とは、どのような年だったのかを概観する。

1971年に米Intelが1KビットDRAMおよびMPU「4004」を開発して以来、半導体集積回路（IC）は、ムーアの法則に従って、3年で4倍の速度でその集積度を増大してきた。これとともに、スケーリン

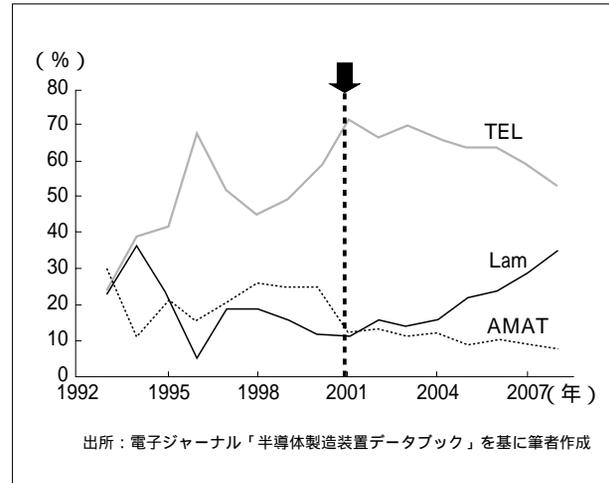


図4 絶縁膜用ドライエッチング装置の世界市場シェア

グ則に従って、ICの素子は、3年ごとに70%の割合で微細化を推進してきた。その結果、2001年には、DRAMの集積度は1Kビットから25万倍の256Mビットに増大した。また、素子の最小加工線幅は、10 μmから1/100以下の90nmに微細化された。

このように半導体デバイスが高集積化、微細化してきた2001年に、次の3点の半導体技術が変革期を迎えた。それは、ウェーハサイズが200mmから300mmに大口径化したこと、リソグラフィ技術がKrFからArFに変わったこと、配線材料および絶縁膜材料が、AlとSiO₂から、CuとLow-k膜に変わったことの3点である。

新たに必要となったドライエッチング装置

上記の結果、新たに、300mm Cu/Low-k用の絶縁膜ドライエッチング装置が必要となった。Cuは、Alのように直接ドライエッチングすることが難しい。そのため、絶縁膜に溝を加工し、この溝をCuめっきで埋め込み、余分なCuをCMPで除去する、いわゆるダマシン法によってCu配線が形成される。また、多層配線形成の際、工程短縮のために、配線と配線をつなぐ孔の加工を溝加工と一括して行うデュアルダマシン加工を開発する必要があった。従って、ドライエッチング装置メーカーは、300mm Cu/Low-k用の絶縁膜ドライエッチング装置を開発し、この新装置によりCuデュアルダマシン配線加工プロセスの実現を目指した。

このような中で、Lamは、どのような装置および技術を開発したのだろうか？

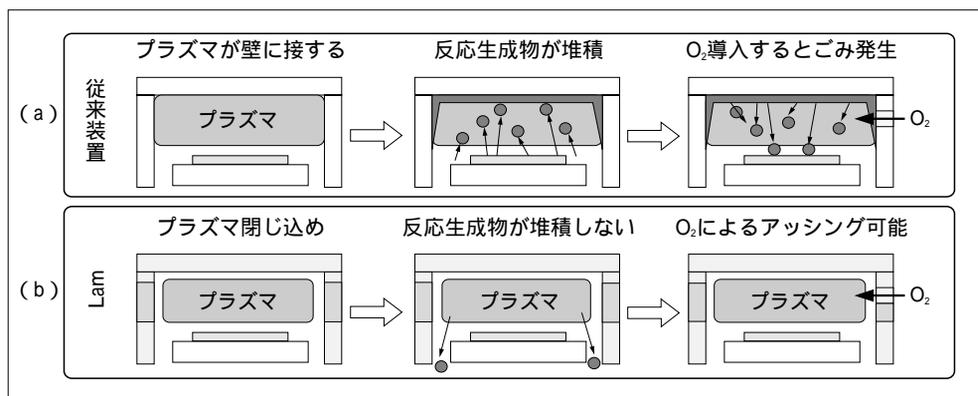


図5 反応生成物の制御方法の違い

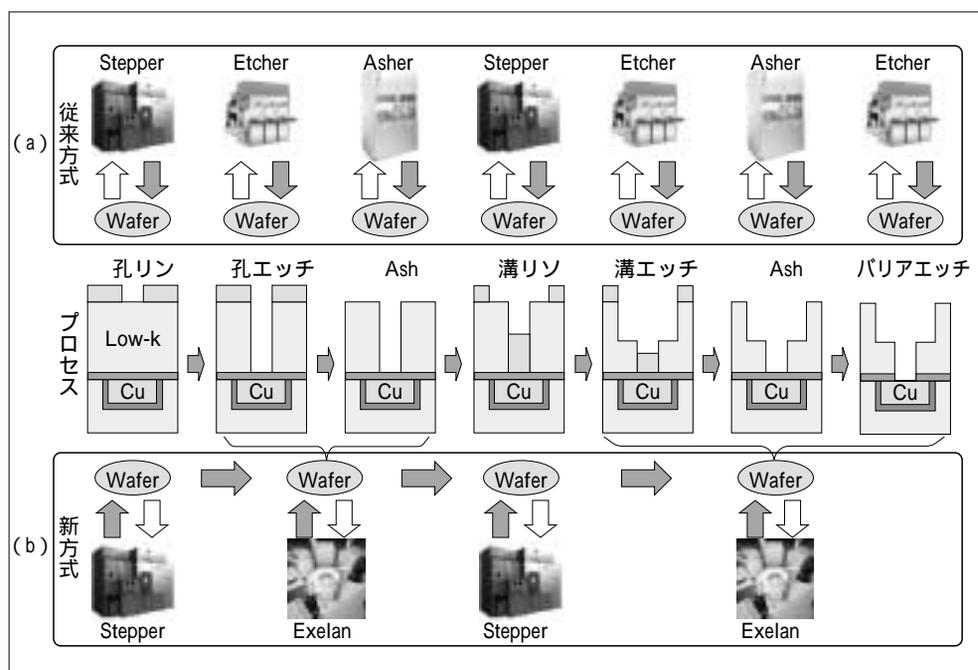


図6 デュアルダマシンの必要な装置

反応生成物の制御方式

従来の絶縁膜ドライエッチング装置は、発生したプラズマが、真空チャンバ内壁に接していた(図5(a))。一方、Lamの新装置「2300 Exelan Flex(エクセラン)」は、物理的にプラズマを閉じ込め、壁に接しないようにした(図5(b))。プラズマが壁に接するか否か、この差が、非常に大きな生産性の違いにつながった。つまり、ここにLamが開発した装置の真骨頂がある。

まず、プラズマが壁に接する従来装置での絶縁膜ドライエッチングでは、発生した反応生成物が壁に衝突し固体となって付着する。付着しても、ウェーハ上に落ちてこなければ、問題はない。従来

技術では、積極的に壁に反応生成物を付着させることによって、エッチング特性の安定化を図っていた。しかし、この状態で、O₂を導入すると、O₂プラズマが付着物を脱離させるため、ウェーハ上にパーティクルを撒き散らすことになる。従って、エッチングチャンバには、O₂を導入できない。これは、ドライエッチング後に行うレジスト除去、すなわちO₂プラズマによるアッシングが、エッチングチャンバではできないことを意味する。このため、従来は、同じプラズマを用いる装置であるにもかかわらず、ドライエッチング装置とは別に、専用のアッシング装置を用いて、O₂プラズマによるレジスト除去を行って

た。

一方、Lamのエクセランを使う場合は、プラズマが壁に接しない。反応生成物は基本的に真空ポンプにより排気される。従って、チャンバ内の壁にはほとんど反応生成物が付着しない。このため、絶縁膜ドライエッチング後のアッシングを、パーティクルの発生がなく同一チャンバ内で連続して処理できるようになった。

エクセランによるデュアルダマシンの配線加工エッチングとアッシングの連続処理ができるかどうかは、デュアルダマシンの配線加工の工程に大きく影響する。

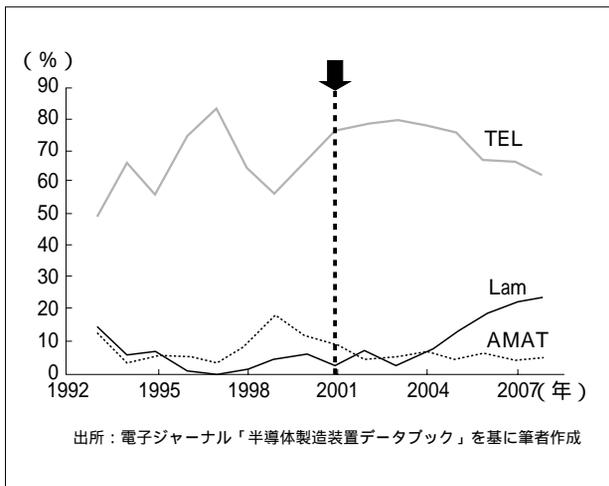


図7 絶縁膜用ドライエッチング装置の日本市場シェア

まず、従来技術においては、次のようにデュアルダマシンを行う（図6 a）。ステッパにより孔用のレジストマスクを形成する、エッチング装置により孔加工を行う、アッシング装置によりレジストを除去する、再びステッパにより溝用のレジストマスクを形成する、エッチング装置により溝加工を行う、アッシング装置によりレジストを除去する。

一方、エクセランを用いた場合は、エッチングとアッシングの連続処理が可能となる（図6 b）。ステッパにより孔用のレジストマスクを形成する、およびエッチング装置で、孔加工とレジスト除去を連続して行う、再びステッパにより溝用のレジストマスクを形成する、および、エッチング装置で、溝加工、レジスト除去、バリア膜のエッチングを連続して行う。

以上のように、レジスト除去のために専用のアッシング装置を使う必要がなくなる。また、ウェーハを装置に出し入れする回数が減るため、パーティクルの発生が劇的に低減できる。このデュアルダマシンを12回も行って、12層ものCu配線を形成する場合、従来装置とエクセランとでは、生産性に極めて大きな差が出るのである。

エクセランを使うメリット

以上のような効果があるため、半導体工場にエクセランを導入した場合、従来装置を用いた場合に比べて、装置台数は60%に、チャンバ数は70%

に、フットプリント（装置の占有面積）は50%に、投資額は65%に、サイクルタイム（ウェーハ処理に要する時間）は50%以下になるという。また、装置は内部の汚れがひどくなると、装置を停止して内部を洗浄しなくてはならないが、装置を洗浄せずに連続して使える日数は十数倍に伸びることである¹⁾。

つまり、プラズマを壁に接しないようにしたお陰で、エッチングとアッシングの連続処理が可能になり、その結果、半導体デバイスの生産性が大幅に向上したのである。

日本市場だけシェアが低いLam

このような生産性向上に、いち早く反応するのは、韓国や台湾などのアジア半導体メーカーである。これらの地域では、Lamの絶縁膜ドライエッチング装置は、飛ぶように売れている。

一方、日本市場はどうか？元々、Lamのシェアは0～10%と低迷していた。ここから、2008年には25%までシェアが増大した（図7）。しかし、日本市場におけるTELの優位性は、依然、揺るぎないように見える。やはり、日本半導体メーカーの生産性に対する感度は、鈍い。

かつて、日立製作所とTELが狭電極型絶縁膜ドライエッチング装置「Unity」（後のSCCM）を共同開発した。また、東芝とTELがマグネトロン式絶縁膜ドライエッチング装置DRMを共同開発した。大手半導体メーカーは、いまだにこの呪縛に囚われているのではないだろうか²⁾。

露光装置産業で明らかになった半導体メーカーと装置メーカーの“共退化”現象が、ここでも窺える。

参考文献

- 1) 湯之上隆：ドライエッチング装置メーカー・ラムリサーチによるイノベーション - 酸化膜ドライエッチング装置の日本市場におけるラムリサーチの躍進 -、技術革新型企業創生プロジェクト、Discussion Paper Series #06-03. (2006) http://www.nedo.go.jp/cisrep/pdf/dp_0603.pdf
- 2) 湯之上隆：イノベーションのジレンマ、日本「半導体」敗戦、なぜ日本の基幹産業は壊滅したのか？、光文社ペーパーバックシリーズ（2008.8）