

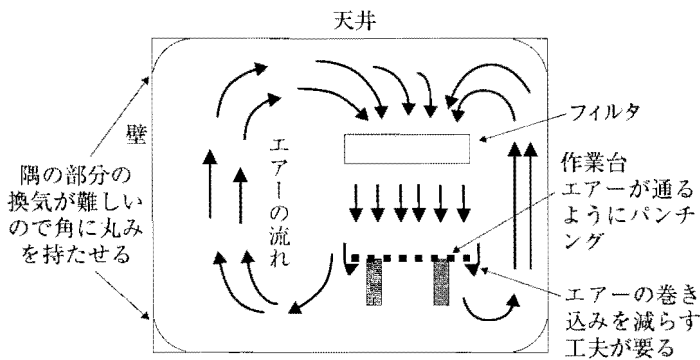
第21回 半導体の生産現場を訪ねて② —クリーンルーム運営とウェーハの洗浄—

厚木エレクトロニクス 代表
サクセス インターナショナル 取締役
加藤俊夫

半導体の生産現場で最も注力するのは、何と云っても歩留り向上です。それには昔も今もダスト低減が重要です。ICの設計をミクロンの単位で行っていた時代は、ダストの大きさもミクロンを問題にしましたが、ナノ設計の時代になって、ダストもナノ時代になってきました。先月は、ダスト対策としてクリーンルームの構造などを見てきましたが、今月はその運営とウェーハ洗浄を取り上げましょう。

クリーンルームの運営

クリーンルームは、クラス0 (ダスト1個/m³)、クラス2 (ダスト100個/m³) などと表現されますが、実際のダスト数は部屋の構造だけで決まるわけではなく、運営方法が大きく影響します。例えば、図1のようにほぼ密閉された部屋にクリーンベンチだけが動いているような簡易クリーンなら、クラス4 (1万個/m³) も無理とされていますが、ダストの発生がなければ何度も換気してい



運営次第ではかなりのクリーン度になる

図1 クリーンベンチのみの部屋

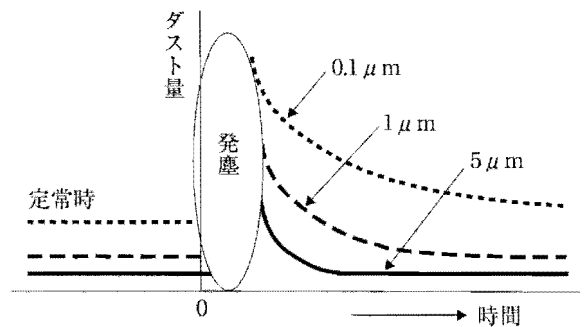


図2 ダスト粒径による沈降速度の違い

るうちにクリーン度は上がって、クラス2 (100個/m³) ぐらいまで良くすることも原理的には可能です。一方、いくらお金を掛けて立派な設備を建設しても、運営が悪くてダストの発生が多いと、これより悪くなる場合があります。運営に当たっての注意事項を挙げてみましょう。

1. 室内圧を高くする

クリーンルーム内外の圧力差は常に監視しなければなりません。万一、クリーンルーム内が減圧になっていると、外からどっとダストが流れ込んできます。

2. 人からの発塵

図2に、人が歩いたり走ったりして床からダストが舞い上がった時の様子を示します。日本舞踊のようにゆっくり動きましょう。フラメンコは駄目。床の清掃が極めて重要ですが、清掃の仕方にも工夫が要ります。筆者のお勧めは、ベタベタマットで靴底のゴミを取り、床もベタベタローラでゴミを取る方法です。マットに付着しているダストは、顕微鏡で観察してダストの種類を確認し対策をとります。クリーンルーム用のダストが出な

い掃除機もありますから、それを使うのも良いでしょう。

3. 装置の付着物がダストに

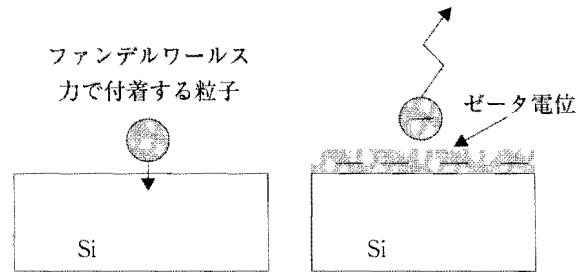
CVDやドライエッチング装置では、チャンバの壁に付着物が溜まります。これが剥がれてダストとなります。多くの装置では、プラズマを発生させて壁の付着物をエッチングして取る仕掛けがありますから、この運営方法が重要となります。

4. 装置の稼動部分からのダスト

モータや動くステージなどからの発塵が問題になります。発塵のないパーツが開発されていますので、一般にはそのような対策品を用いています。

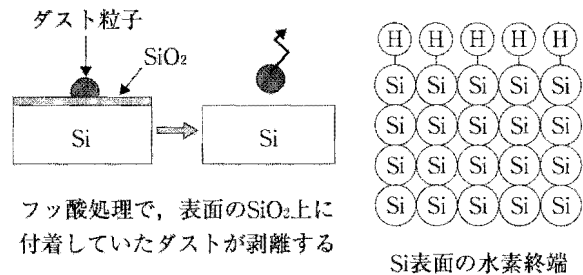
洗浄

洗浄については第5回（07年9月号）で少し触れました。今月は詳しく見ていきましょう。Siウエーハの洗浄は、今なおRCA洗浄が中心です。40年近く前に、ブラウン管のガラス洗浄のために開発された洗浄方法が今も続いています。SC-1、SC-2と呼ばれる薬液が用いられます。成分や用途を表1にまとめました。SCというのはStandard Cleanの略です。SC-1には表のような洗浄効果があり、ゼータ電位と呼ばれる表面での負の電界により酸化物系のパーティクルは剥離されます。この様子を図3に示します。しかし逆に、Al、Fe、Niなどの金属が付着しやすいという欠点があるようで注意を要します。また、アンモニアや過酸化水素は、使用中に蒸発して濃度が変わりますから、これらの管理も重要です。SC-2と硫酸過酸化水素は、金属粒子の除去に有効です。硫酸過酸化水素は、アッシャでのレジスト剥離の残渣の除去にもよく用いられています。フッ酸は、SiO₂除去に用いら



酸化物系粒子は静電的反発力でSiから離脱する

図3 SC-1の液中の様子



フッ酸処理で、表面のSiO₂上に付着していたダストが剥離する

Si表面の水素終端

図4 フッ酸洗浄によるダスト剥離と水素終端の様子

れます。Siは空気に触れると表面が酸化しますので、これの除去に用いられますが、アンモニアを加えたバッファフッ酸や純水で薄めた希フッ酸もよく用いられます。図4は、Si表面に酸化膜ができ、その上に付着したダスト粒子が酸化膜とともに剥離する様子を説明したものです。また、フッ酸処理すると、Si表面に水素原子で覆われた構造となり、水をはじく撥水性となります（SiO₂があると、水に濡れ性の良い親水性となります）。

表1 RCA洗浄に用いられる液の特徴

名称	組成	用途	pH
アンモニア過酸化水素 APM, SC-1	NH ₄ OH H ₂ O ₂	パーティクル除去 有機物除去	10-12
塩酸過酸化水素 HPM, SC-2	HCl H ₂ O ₂	金属除去	0-2
硫酸過酸化水素 SPM	H ₂ SO ₄ H ₂ O ₂	有機物除去 金属除去	0-2
フッ酸	HF	SiO ₂ 除去	0-2

洗浄装置

洗浄に用いられる装置は、バッチ式、ワンパス式、枚葉式があります。最も一般的に用いられているのはバッチ式で、図5に原理を示します（第5回の再掲載）。薬液槽と純水槽を順番に並べて25枚1バッチのウエーハを浸漬する方法で、連続的に行いますから大量生産に向いています。ただし、同じ薬液を何度も使いますから、徐々にダストが蓄積する欠点があります。その点、図6のワ

ンバス式や枚葉式は洗浄効果が優れています。ワンバス式は、同じバットの中に薬液→純水→薬液→純水と連続的に薬液で洗浄しますから、ダストは洗い流されてしまいます。枚葉式は、図6のようにウェーハを回転しながら薬液をスプレーしますので、これもダスト

が流されてしまいます。これらは洗浄効果は優れていますが、薬液の使用量が多いのが欠点です。この対策として、オゾン水と希フッ酸を交互にスプレーする方法などが一部で使用されています。オゾンは酸素になり、希フッ酸もきわめて濃度の薄いフッ酸を用いますから、後処理が簡単で環境に優しい方法です。

少し乱暴な方法ですが、柔らかいブラシでこするスクラブ洗浄もあります。CMPなどで、表面を削ると、削りカスや砥粒などが表面に付着していますが、これらをスクラブするわけです。最近では、これに代わるジェット洗浄などもあります。図7は、ノズルから窒素と純水のジェットがウェーハに吹き付けている様子です。

純水の生成

水にまったく不純物が含まれていないと、電気抵抗は室温で18.3MΩになります。このような超純水を作るのも重要な技術です。一般に用いられている純水生成システムを図8に示します。この図で、UV照射というのは、高分子を壊して低分子化すると殺菌のためです。超純水のようなまったく栄養がないと思われる環境でも細菌が繁殖するのですから驚きです。脱ガスや真空脱気というのは、純水中に酸素などが溶け込んでいると、Siがわずかに酸化されることがあるので、酸素を除くために入れています。逆に炭酸ガスを入れる場合もあります。これは、超純水の電気抵抗が高くて絶縁物に近いので静電気を帯びやすくその対策です。逆浸透膜（RO；Reverse Osmosis）の原理を説明しておきましょう。卵の薄皮のような薄膜はイオンを通します。濃度の高いイオン水と低いイオン水があると、薄膜を通して濃度の高い方から薄い方へイオンが移ります。これは、浸透圧という圧力があるためです。そこで、逆にイオン濃度の低い方へ人為的に圧力をかけると、低い方から高い方へイ

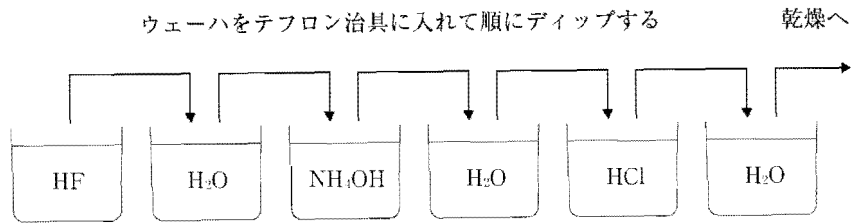
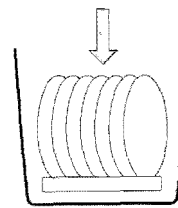
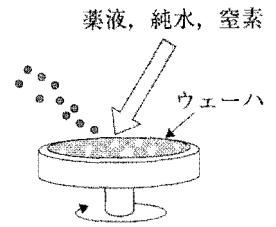


図5 バッチ式RCA洗浄

薬液1→純水→薬液2→純水→乾燥は窒素中で



ワンバス式 (One Bath)



枚葉式スピン洗浄

図6 ウェーハ洗浄装置の2方式

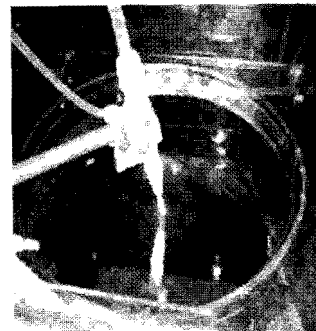


図7 超音速2流体ジェット

写真提供) 島田理化学工業

窒素ガスと純水のジェット洗浄

- ①高い異物除去能力
- ②ダメージ低減
- ③金属汚染なし

オンが移ります。このようにして、不純物濃度の低い純水をさらに不純物濃度を下げることができるわけです。最後のポリリッシャは、混床イオン交換樹脂のことで、イオン化された有機物を除去します。限外ろ過は、中空糸膜のフィルタでUV照射によって低分子化しきれなかった有機物などをろ過します。また、ユースポイントで使い残した水は、再び原水へ送られて利用されます。

乾燥にも色々工夫が

乾燥には、洗濯機と同じようにスピン乾燥が用いられ

<ちょっと脱線>超純水は飲むな？

人が普通の水を飲むと、胃や腸の壁にミネラル分の栄養を与えるが、純水を飲むとミネラル分がないので悪影響がある。と、真面目に議論する人がいます。しかし、体内に入った純水は、直ちに色々な成分が溶け込んで、胃や腸に到達する時には純水ではないので安心して飲んで良いのです。ただし、ミネラル分が入っていないので、「おいしい水」ではありません。薬局の棚には20種類ぐらいの「健康に良いお茶」が並んでいます。全部飲むと体調万全かも知れませんが、1日にバケツ5杯ぐらい飲まなければなりません。最近、水素水は体内の老廃物である活性酸素を排出する、と、マグネシウムらしきスティックをいただきました。水に入れると水素の泡が発生し、何か体に良さそうな気がしています。

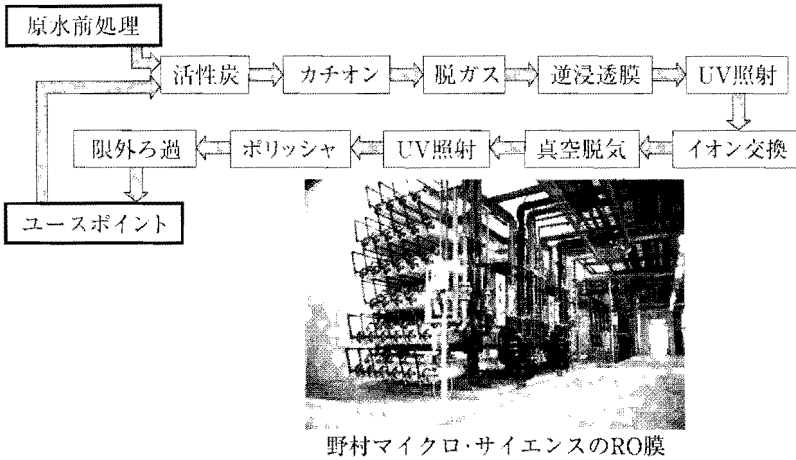


図8 純水生成システム

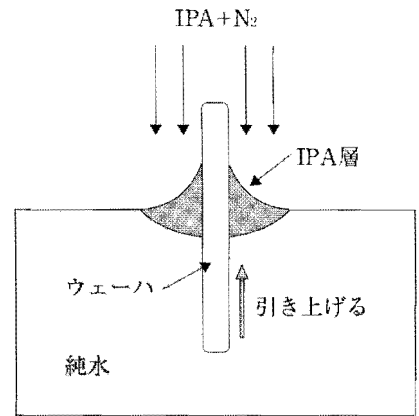


図10 マランゴニ乾燥の原理

完全に防ぐのは困難なので、乾燥の際にIPA（イソプロピルアルコール）中で水滴が付かない工夫がされています。図10はマランゴニ乾燥といわれる方法で、純水の表面にIPAを吹き付けて表面にIPA層を形成し、そこを引っ張るウェーハには、水滴が付かないようにした方法です。IPAは水滴対策として有効ですが、発火性があるため管理を十分行う必要があります。

おわりに

以上、洗浄について見てきましたが、最近はウェーハの裏面や端面のダストを問題にしています。ウェーハを洗うといえば一見単純な工程と思われるかも知れませんが、色々なノウハウが要ります。他のリソグラフィ、CVD、エッチング、イオン注入、CMP、パッケージなどもそれぞれノウハウの固まりです。半導体生産は、生産現場の工夫により、このような細かいノウハウの積み重ねで成り立っているわけです。

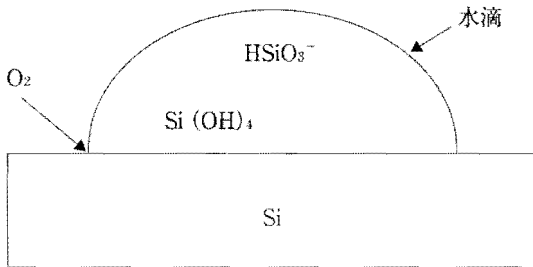


図9 ウォータマーク生成のメカニズム

ます。ところが、Si表面に水滴が付いていると、図9のように水滴中に酸素とSiが溶け込んで珪酸を作り、乾燥すると円形の模様となります。ウォータマークと呼ばれるこの模様は極わずかな表面の凹凸と思われませんが、最近の微細LSIでは電気特性に影響するため、あってはならないとされています。ウォータマークをなくすには、洗浄を窒素中で行えば良いわけですが、酸素の混入を完