局所クリーン化洗浄装置における微粒子を減らすための密閉空間での洗浄

Wet cleaning to reduce particles generated on a wafer in closed environment

産業技術総合研究所[1], ミニマルファブ推進機構[2],
○根本一正[1], 谷島孝[1], 三浦典子[2], クンプアン ソマワン[1,2], 原 史朗[1,2]

AIST[1],MINIMAL[2],
Kazumasa Nemoto[1], Takashi Yajima[1], Miura Noriko[2], Sommawan Khumpuang[1,2], and Shiro Hara[1,2]
E-mail: nemoto.Kazumasa@aist.go.jp

[背景と研究目的] 超小型デバイス生産システムミニマルファブ[1]は、装置が人サイズで、ウェハが非常に小さいことと、局所クリーン化が特徴である。このことで有利なプロセスと不利なプロセスとがでてくる。たとえば、プラズマプロセスには、面内均一性を確保しやすくチェンバーをウェハに対して大きく取れるために、非常に有利である。一方、洗浄プロセスでは克服すべき次の課題点がある。(1)ミニマルファブはクリーンルームを使わないため、装置内への微粒子侵入を防ぐと同時に酸・アルカリなどの蒸発気体を外部に出さないようにするために、装置内外を遮断すると同時にウェハを出し入れするという複雑な装置密閉、気流制御技術が必要となることと。(2)ウェハエッジの表面張力が強く働くため、ウェハ上での液体の置換が難しくなることである。課題(1)では、チェンバー内の圧力を正圧のまま制御する事で、外部からの微粒子混入と内部からの漏出を防ぐようにした[2]。課題(2)の強い表面張力による液体置換性の悪さと乾燥のしづらさの課題をさらに高難易度にしているのは、薬液洗浄、超純水リンス、乾燥を、薬液蒸気のこもった完全密閉空間内で行わなければならないことである。ミニマルファブの洗浄装置では、これらの極めて複雑な課題について、これまで克服できておらず、そのため、洗浄でのウェハ上の微粒子を除去しきれないという問題を抱えていた。今回、液体吐出ヘッド(図1A)とウェハの距離を任意に可動させることで、解決のための方法論を見いだしたので、報告する。

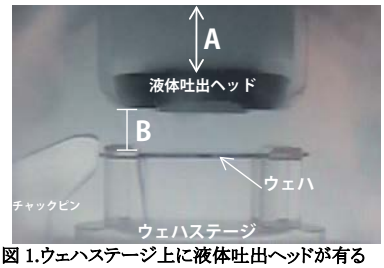

図 1.ウェハステージ上に液体吐出ヘッドが有る

[装置] ミニマル洗浄装置では、ウェハが小さいために図2のように表面張力が強く働き、ウェハ上に液が 3mm 程度盛りあがりこぼれずに保持される。この表面張力を逆に利用し、ウェハ上に液を溜めて洗浄しては、反応した薬液を新しい薬液供給で押し流すことを断続的に行うことにより少量の薬液で洗浄ができる。液体吐出ヘッドには、薬液種類別に 1 種類ずつ吐出口があり、その吐出口から薬液をウェハ表面に吐出させ、ウェハ表面で液が混合し薬液反応が始まる。さらに、薬液が冷えてしまうのを防ぐためにウェハ下面からランプ加熱することにより、ウェハ自体を温める。ウェハと薬液の化学反応はウェハ表面直上で発生するのであるから、ウェハを温めれば直上の薬液も加熱される。また、ウェハステージ上のウェハと液体吐出ヘッドの間は表面張力により液体を挟むように保持され(図3)、液体吐出ヘッドに内蔵されている振動子により、メガソニック洗浄も可能になる。しかしながら、薬液洗浄、超純水リンス、乾燥をウェット処理と同じ場所のウェハステージ上で行うため問題を起こす。例えば、薬体吐出ヘッド(図1B)の距離が 1.75mm に固定されている為に、薬液吐出ヘッドには、薬液吐出口の他に窒素の吐出口もついているが、薬液洗浄中に毛細管現象により窒素吐出口より配管内に液が入り込み、この液が意図としない時にウェハ上に液が落下する。

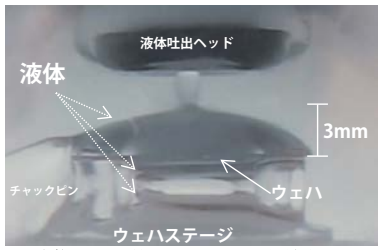

図 2.液体が表面張力でウェハ上に保持される

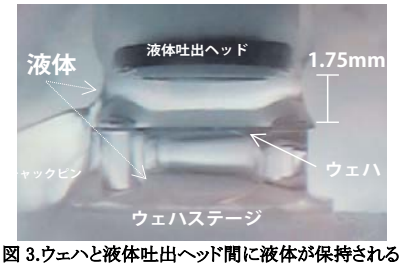

図 3.ウェハと液体吐出ヘッド間に液体が保持される

[実験] 図 4 は、薬液吐出ヘッドをプロセス中ずっと同一高さに固定した時のウェハ上の残存パーティクル分布である。この問題点は、(1)薬液洗浄後の超純水リンスで薬液が超純水への置換時に、ウェハ上の液体の流れがウェハ内で均一でなく偏りが発生し、薬液の置換が進みにくいと考えられることと、(2)ウェハを高速回転で乾燥する際、強い表面張力で液体を完全除去できず、ウォーターマークを生ずることである。これらの問題点(1)と(2)を解決するために、薬液洗浄・超純水リンス・乾燥のステップで液体吐出ヘッドとウェハとの距離の制御を 0.8～10mm に任意できるようにした。具体的には、薬液吐出ヘッドとウェハの距離を 0.8mm に狭くした場合は、少量の薬液で表面張力を利用した洗浄ができるが、超純水リンスでは問題点(1)が発生する。一方、薬液吐出ヘッドとウェハの距離を 7mm に離すと、薬液反応が弱くなり微粒子を完全に除去できないが、超純水リンスでの液置換は、ウェハ内で均一に進み易くなる。しかし、液の使用量が多くなる。N_2吐出し高速回転の乾燥では、離すと乾燥時間が短くでき、問題点(2)が抑制できる。従って、薬液吐出ヘッドとウェハの距離を薬液洗浄時には狭くし、超純水リンスでは液吐出時に狭い、離すを繰り返し3回行い、乾燥では離すことを行った結果が図 5 である。ウェハ表面の微粒子径 0.15μm 以上の残存パーティクルが 5 個と大変少なくなった。

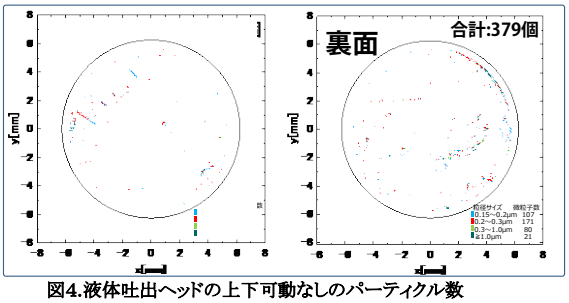

図4.液体吐出ヘッドの上下可動なしのパーティクル数

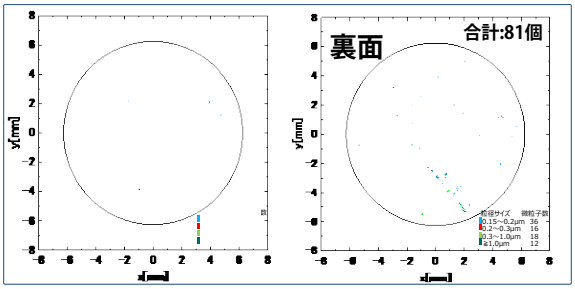

図5.液体吐出ヘッドの上下可動ありのパーティクル数

[結論] 液体吐出ヘッドを、ウェハとの距離の制御を任意にすることにより、ウェハ上の微粒子を減らすことが出来ることが分かった。ただし、ウェハ裏面は、微粒子径 0.15μm 以上の残存パーティクルが比較的多い 81 個あり今後の課題がある。発表当日は、この議論に加えて、実際のデバイス作成後の評価についても述べる。

＜参考文献＞

[1]原史朗, クンプアンソマワン, 「ミニマルファブの開発とそのデバイスプロセス」, 応用物理, 83(5), 380 (2014).
[2] 根本一正,他,第81回秋季応用物理学会10a-Z10-9(2020)

謝辞:この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP12004)の結果得られたものです。

© 2021年 応用物理学会