

## 水蒸気と水の混合噴流で低環境負荷な洗浄技術を開発 半導体デバイスの新規洗浄技術

水蒸気と水を混ぜて対象物に噴射し、表面を洗浄する技術を開発しました。原材料は水のみで、薬品を一切使用しません。特に半導体製造工程における表面洗浄、POSTCMP（Post Chemical Mechanical Polishing 化学機械研磨後）洗浄、レジスト剥離などに利用できます。

- 工業的な洗浄用の薬品を劇的に減らし、環境負荷の小さい洗浄を実現できます。
- 半導体デバイス製造の歩留まりに大きな影響を及ぼすナノスケールのパーティクル（細片）を除去できます。また、蒸気の凝縮効果によって、高アスペクト比のビア（開口部が小さく深い穴）内であっても異物を除去することができます。
- レジストやパーティクルなどの同時除去が可能で、製造工程を簡素化できます。
- 半導体分野以外の洗浄への応用も可能です。

### 競合技術への強み

	処理速度	薬液の使用量	洗浄効率
浸漬式（バッチ式） （従来技術）	◎ 同時に大量処理可能	× 大量に使用	× 再付着などの問題あり
2流体ジェット洗浄 （空気と水や薬液の混合噴流、近年実用化されている手法） （従来技術）	○ 実用的には十分なスピード	△ 浸漬式よりは減らすことが可能	△ ビア内などの洗浄はむずかしい
蒸気と水の混合噴流による洗浄 （本技術）	○ 実用的には十分なスピード	◎ 薬液なし	○ 物理力洗浄なので高効率、比較的低压

▲水系洗浄に関する従来技術と本技術との比較

- ①精密洗浄：従来の浸漬式（大きな薬液のプールで複数のウェハを同時に洗浄する手法）は、高精度が要求されるデバイスでは、使用できなくなっています。本技術では対応できます。
- ②環境負荷が小さい：薬液を使用しないので、環境負荷が小さな洗浄法です。
- ③高アスペクト比のビア内にも対応：従来の枚葉式（ウェハを1枚ずつ洗浄する方法）では、表面張力の影響で、高アスペクト比のビア（開口部が小さく深い穴）内や、ナノスケールパターンの洗浄が困難になってきています。本技術は、こうしたパターンでも対応できます。
- ④低圧力で高効率：蒸気の凝縮効果を利用して、きわめて細かなパターンも濡らすことができ、従来の2流体ジェット洗浄に比較しても低圧力で高効率な洗浄が可能です。

### 成果の概要

蒸気と水を混合させ、ノズルで加速して表面に噴射する洗浄技術を開発しました。近年、半導体デバイスのパターンが微細化するのに伴い、従来の手法では歩留まりの悪化などから新規洗浄技術の開発が求められています。また環境問題から、従来使用していた薬品が使えなくなったり、薬品の使用量を減らすことが求められています。

本研究では、きわめて細かなパターンでも蒸気を凝縮させることによって確実に洗浄液を到達させ、そこに高速な液滴を衝突させることで発生する衝撃波やキャビテーション<sup>(注1)</sup>などの物理力を利用する洗浄技術を開発しました。

本洗浄手法は、100nm以下のパーティクルも除去でき、またフォトリソも同時に除去できるため、作業工程を減らすことが可能となり、より高効率な洗浄が実現できます。

また本洗浄手法は、物理力洗浄ですので、半導体のみならず様々な分野での応用が可能だと考えられます。今後幅広い分野での応用を期待しております。

### ブレイクスルーのポイント

まず、半導体の現場に近い企業の人と一緒に研究開発を行えたことが大きなポイントでした。専門が異なるため、お互いの発想が異なり、1人では思いつかなかったような新しい実験が数多くできました。また企業の研究室に入り込んで実験を行えたため、大学内では入手が難しいサンプルも数多く利用することができました。

また、異変を見逃しませんでした。噴流計測のためにノズルの位置調整をしていた際に、シリコンウェハではもったいないとの理由から近くにあったアルミ片に噴射しました。その表面に異変が見られ、それをAFM（Atomic Force Microscope 原子間力顕微鏡）で解析したことがメカニズム解明の大きなヒントになりました。

環境を変えて行ったこともヒントになりました。湿度や温度が完璧に制御されている企業のクリーンルームと異なり、大学の研究室は日々環境が変化します。その変化の影響を見逃さなかったことから、新たな剥離手法を考案しました。

学会などでの発表を通して、国内外の様々な研究者からアドバイスをいただけたことも貴重でした。このようなブレイクスルーの成果により、日本ウォータージェット学会から奨励賞を受賞しました。

### 今後の展開（研究面について）

今後の課題として以下のような点があげられます。

- よりミクロなスケールでの洗浄メカニズムの解明が必要です。
- 次世代型の新規材料（Low-k材料＝層間絶縁膜材料として使われる誘電率の低い材料など）は非常に弱いため、物理力を利用した本洗浄手法によるダメージをいかに減らせるか、対策が必要です。
- プロセス時間をいかに短くできるかは、もっとも重要な課題です。
- 原理的には半導体以外の様々な分野に応用可能ですので、今後は様々なサンプルを試験していきたいと考えています。

### 産業応用の可能性

#### 【これまでの企業との共同研究歴】

半導体製造プロセスに特化したベンチャー企業と製品化を行っています。（企業連携実績：1社と契約済み、共同研究中）

また半導体以外の分野においても、1社が実用化に向け研究中、1社が技術の適用可能性を検討中です。

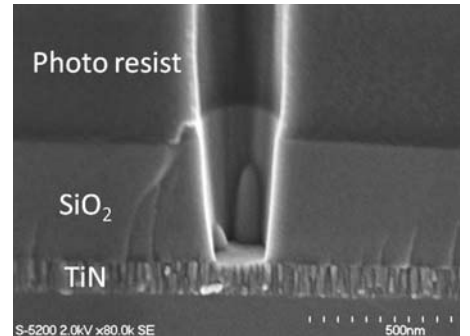
#### 【これから応用展開の可能性を探索してみたい業界・企業】

蒸気を使用することで、湿度が高くなりますが、原理的には半導体以外の分野でも洗浄可能です。しかし、薬品を使用せず、比較的低压の蒸気ですので、容易に取り扱うことが可能です。（ボイラー取り扱い関係の資格は必要ありません。）

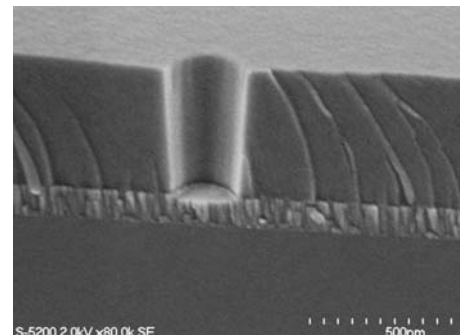
半導体を含むICなどの電子部品メーカーだけな



◀写真1 混合噴流を噴射している様子



▲写真2 洗浄前（ビア内に異物が見える）



▲写真3 洗浄後（フォトリソだけでなくビア内の異物も除去できている）

く、食品産業から家庭用まで幅広い分野での実用化を希望しています。

### 産業界へのアピール

本技術は、機械工学の中でも古典的な流体力学や熱力学を応用した手法です。しかしながら、原理的に解明できているのはその一部分のみで、未知な部分も多く、これからも継続的な研究が必要です。より多くの分野の方に利用してもらい、その過程で様々な現象が明らかになることを願っています。

(注1) キャビテーションとは、高速で運動する液体中で、圧力が飽和蒸気圧より低い部分で気泡が発生（沸騰）することをいう。短時間で崩壊して局所的に高圧力を発生する。



06A30701d「水蒸気と水の混合噴流による低環境負荷洗浄装置の開発」（平成18年度第2回公募）

代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名

真田 俊之 静岡大学 工学部・機械工学科 助教