

# 超音波洗浄技術を用いた次世代半導体デバイスの 洗浄技術に関する研究

[研究代表者] 清家 善之 (工学部電気学科)

[共同研究者] 森 竜雄 (工学部電気学科)

本多 祐二、疋田 智美、佐藤 正典 (本多電子株式会社)

## 研究成果の概要

近年、半導体デバイスの微細化が進み ITRS(International Technology Roadmap of Semiconductor)2.0 によると 2020 年には DRAM (Dynamic Random Access Memory)の最小線幅が 10nm になると示されている。半導体デバイスの製造工程において、シリコンウェハと呼ばれるシリコン基板上のナノメートルオーダーの異物 (パーティクル) の除去の必要性から、製造工程の 1/3 は洗浄工程と言われている。半導体デバイスは 1 バッチ 25 枚のフープ (カセット) の単位で、アンモニア水、過酸化水素水、塩酸等に温度をかけた薬品に、順次浸漬させる RCA 洗浄が一般的であった。しかし最近では、環境負荷低減の目的や半導体のデバイスの多品種化のため枚葉式の洗浄方法が求められ、純水をスプレーする洗浄工程が増えてきている。枚葉式洗浄において超音波振動体型洗浄装置は有効な洗浄方法であり、現在多くの工程で使用されている。超音波振動体による洗浄は超音波振動子から純水に超音波の振動を与えることによって水分子を加速させ、洗浄する方法である。超音波の周波数が高いほど小さなパーティクルが落ちる特性を持ち、洗浄対象のパーティクルが小さくなると、より高い周波数の振動が必要なる。しかし上記で述べた分子レベルの配線幅になると水の表面張力のために水が配線間に入らず洗浄不良になる問題や超音波振動で配線にダメージを与えてしまうという問題がある。本研究では、本多電子株式会社と共同で、より高い周波数 5MHz~10MHz の超音波振動体技術を用いて、次世代の半導体デバイス洗浄技術を目指す。本年度においては、直径 0.2 $\mu$ m、1 $\mu$ m のポリエスチレンラテックス(PSL)粒子をシリコンウェハ上にエレクトロスプレー塗布したサンプル基板を作製し、基板温度を変化させ PSL 粒子の形状変化させることによって、付着力を制御した。また周波数 1MHz と 3MHz の 2 種類の超音波振動体型洗浄装置の洗浄能力を、試作したサンプル基板を用いて洗浄力を測定した。

**研究分野：**電気電子材料、品質工学

**キーワード：**半導体デバイス、超音波洗浄、ポリエスチレンラテックス(PSL)粒子、洗浄、純水、エレクトロスプレー

## 1. 研究開始当初の背景

近年、半導体デバイスの微細化が進み ITRS(International Technology Roadmap of Semiconductor)2.0 によると 2020 年に DRAM (Dynamic Random Access Memory)の最小線幅が 10nm と示されている。最近の新聞発表では、台湾 TSMC 社が配線間 5nm の半導体デバイスの試作を始めたとの報道がなされている。この半導体デバイスの製造工程において、シリコンウェハと呼ばれるシリコン基板上のナノメートルオーダーの異物 (パーティクル) の除去の必要性から、製造工程の 1/3 は洗浄工程と言われている。半導体デバイ

スは 1 バッチ 25 枚のフープ (カセット) の単位で、アンモニア水、過酸化水素水、塩酸等に温度をかけた薬品に、順次浸漬させる RCA 洗浄が一般的であった。しかし最近では、環境負荷低減の目的や半導体のデバイスの多品種化によって枚葉式の洗浄が求められている。枚葉式洗浄装置方法の一つに超音波洗浄がある。この方法は超音波振動体による洗浄は超音波振動子から純水に超音波の振動を与えることによって水分子を加速させ、洗浄する方法であり、超音波の周波数が高いほど小さなパーティクルが落ちる特性を持ち、洗浄対象のパーティクルが小さくなると、よ

り高い周波数の振動が必要となる。しかし上記で述べた分子レベルの配線幅になると水の表面張力のため、水が配線間に入らず洗浄不良になる問題や超音波振動で配線にダメージを与えてしまうという問題がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、周波数 5MHz ~ 10MHz の超音波振動体技術を用いて、次世代の半導体デバイス洗浄技術を目指すことである。本年度においては、直径 0.2 $\mu\text{m}$  のポリエチレンラテックス(PSL)粒子をシリコンウェハ上に塗布したサンプル基板を用いて、周波数 1MHz と 3MHz の超音波振動体型洗浄装置の洗浄能力を確認し、改善することを目指した。

## 3. 研究の方法

### (1) PSL 粒子サンプル基板の作製

超音波振動体型洗浄の効果を定量的に評価するために、シリコン基板にエレクトロスプレー法で、JSR ライフサイエンス株式会社製の直径 0.2 $\mu\text{m}$  と 1 $\mu\text{m}$  の PSL 粒子 (型式 SC-103-S) を付着させたサンプル基板を作製する。その



図1 エレクトロスプレーでの散布様子(9kV, 0.1mL/h)

時のエレクトロスプレーの霧化の様子を図1に示す。また PSL 粒子散布後にバーク処理を行い、PSL 粒子の付着力を調整した。図2 にバーク温度およびバーク時間に対する 1 $\mu\text{m}$  の PSL 粒子の形状を示す。このように加熱することによって PSL 粒子の付着力を調整させた。

### (2) 洗浄実験

超音波振動体型洗浄の出力と洗浄力との関係を定量的に調査する実験を行った。実験では、本多電子株式会社の超音波振動体型洗浄機 (型式 W-357-1MPD 周波数 1MHz 最大出力 40W) および (型式 W-357-3MPD 周波数 3MHz 最大出力 40W) の2機種を使用した。超音波振動体型洗浄はノズル先端から放射された流水に超音波を重畳させて洗浄するポイントタイプの流水式である。特徴として流水式のためパーティクルの再付着がなく、高周波数なのでサブミクロンのパーティクル除去が可能である。また、低出力なのでデバイスへの低ダメージ、出力を調整することで洗浄力も可変できる。

図3 は実際に汚れサンプル基板を洗浄している様子である。スピンコータ上にシリコンウェハを設置し 50 $\text{min}^{-1}$  の回転数で回転させ、その上から超音波振動体洗浄装置のノズルからスプレーする。その後、回転数 1500 $\text{min}^{-1}$ 、30秒間スピン乾燥する。洗浄評価は、超音波振動体型洗浄装置で洗浄した前後で、PSL 粒子の数をカウントし、除去率を求めた。付着力を調整するためにサンプル基板のバーク温度を 380K、10分間行った。また超音波振動体型洗浄装置の出力を 0kW から 40kW の5水準とした。

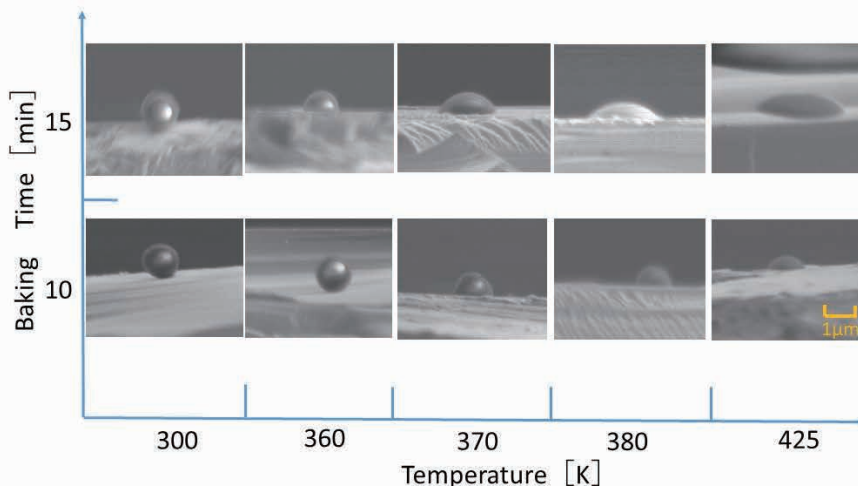


図2 散布した PSL 粒子を加熱した場合の形状の変化



図3 超音波振動体型洗浄装置での洗浄の様子

図4にPSL粒子 $1\mu\text{m}$ を散布したサンプル基板を周波数1MHzと3MHzの超音波洗浄装置で洗浄した場合の出力に対するPSL粒子の除去率を示す。1MHz時も3MHz時も超音波洗浄装置の出力(振幅)が大きくなるにつれて除去率が高くなっていることが分かる。また周波数1MHzと3MHzを比較した場合、1MHzの方が、洗浄力が高い傾向

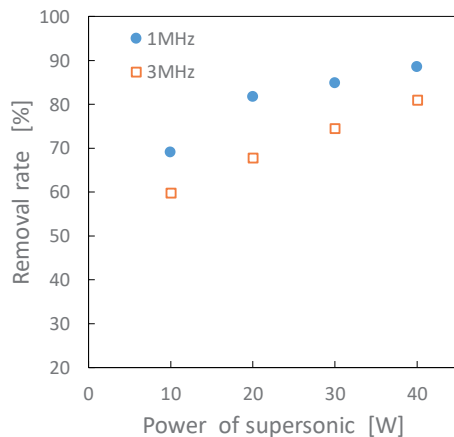


図4 PSL粒子 $1\mu\text{m}$ のサンプル基板を用いた時の超音波洗浄の出力に対するPSL粒子の除去率

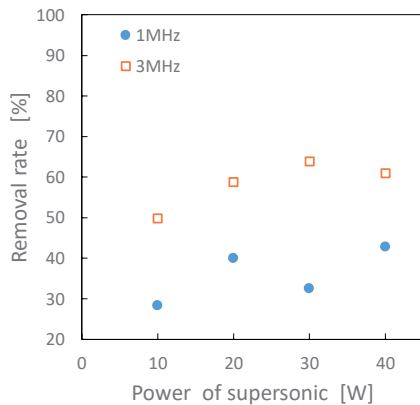


図5 PSL粒子 $0.2\mu\text{m}$ のサンプル基板を用いた時の超音波洗浄の出力に対するPSL粒子の除去率

にある。図5にPSL粒子 $0.2\mu\text{m}$ を散布したサンプル基板を周波数1MHzと3MHzの超音波洗浄装置で洗浄した場合の出力に対するPSL粒子の除去率を示す。図4と同様、洗浄装置の出力が大きくなるにつれて、洗浄力は高くなるが、 $1\mu\text{m}$ 時よりも除去率が低くなっている。これは、PSL粒子が受ける超音波洗浄による流体抗力が小さくなるためと推測している。またPSL粒子 $1\mu\text{m}$ の時とは異なり、3MHzの超音波洗浄の方が1MHz時の洗浄時よりも除去率が高くなっている。この現象は実際の半導体洗浄プロセスでの結果と一致しており、超音波周波数は除去可能なパーティクルサイズに依存性があることを示している。

#### 4. 研究成果

本年度は、PSLサンプル基板を $0.2\mu\text{m}$ のサンプル基板を作製することができた。PSL粒子をカウントする際には、昨年 $1\mu\text{m}$ のPSL粒子をカウントする際に使用した光学顕微鏡でなく、AFMを使用した。またこれらのサンプルを用いて周波数1MHzと3MHzの超音波洗浄装置で洗浄実験を行ったところ、以下のことが分かった。

- ①超音波洗浄装置のパワー(振幅)が大きくなるほど、洗浄力は高い。
- ②PSL粒子 $0.2\mu\text{m}$ 粒子を用いた方が、PSL粒子 $1\mu\text{m}$ よりも除去率が低くなる。
- ③PSL粒子 $1\mu\text{m}$ と $0.2\mu\text{m}$ において、除去率に周波数依存性があることを確認した。

#### 5. 本研究に関する発表

- (1) 澤木良河, 清水涼介, 疋田智美, 本多祐二, 佐藤正典, 森竜雄, 清家善之, PSL粒子を用いた超音波洗浄評価技術, 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会(INE) 第4回ポスター展, 慶応大学日吉キャンパス(神奈川), (2019).
- (2) 清家善之, 電子デバイス製造プロセスにおけるスプレー洗浄技術, 砥粒加工学会 研磨の基礎科学とイノベーション化専門委員会(KENMA研究会) 第11回研究会, 金沢工業大学 虎ノ門キャンパス, 東京, (2018).
- (3) 岡島圭佑, 長嶋良樹, 丹菊大輝, 森 竜雄, 清家善之: 超音波を用いた半導体デバイス洗浄技術に関する研究, 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会(INE) 第3回ポスター展, (2018).