

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㈱)

研究成果の概要

近年、大手半導体デバイスメーカー TSMC(Taiwan Semiconductor manufacturing Company Ltd.)がゲート長 5nm というロジック半導体の量産を行うなど、デバイスの微細化が進んでいる。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工程が増えてきている。枚葉式洗浄において超音波洗浄は有効な洗浄方法であり、スプレー型と振動体型が使用される。超音波スプレー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て洗浄する方法である。一方、振動体超音波洗浄は、石英などの振動体を介することにより、水分子を加速させ洗浄する方法である。いずれの方法も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。つまり、洗浄対象のパーティクルが小さくなると、より高周波数の超音波振動が必要となる。しかし上述し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課題がある。本研究では、本多電子株式会社と共同で、周波数 1 MHz から 5MHz の超音波振動体洗浄技術を用いて、次世代の半導体デバイス洗浄技術を目指す。本年度は、周波数 1MHz の石英振動体型超音波洗浄装置を開発し、サイズ 1 μm のポリスチレンラテックス(PSL)粒子を用いて洗浄実験を行い、有効性を見出した。

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、石英振動体型超音波洗浄、超音波スプレー洗浄、ポリ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、大手半導体デバイスメーカー TSMC 社がゲート長 5nm というロジック半導体の量産を行うなど、デバイスの微細化が進んでいる。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。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工程が増えてきている。枚葉式洗浄において超音波洗浄は有効な洗浄方法であり、スプレー型と振動体型が使用される。超音波スプレー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て洗浄する方法である。一方、振動体超音波洗浄は、石英などの振動体を介することにより、水分子を加速させて洗浄する方法である。いずれの方法も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。つまり、洗浄対象のパーティクルが小さくなると、より高周波数の超音波振動が必要となる。しかし上述し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課題がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高い周波数 1 MHz から 5 MHz の超音波振動体洗浄技術を用いて、次世代の半導体デバイス洗浄技術を目指す。本年度は、周波数 1MHz の石英振動体型超音波洗浄装置を開発し、サイズ 1 μm の PSL 粒子を用いて洗浄実験を行い、この装置の有効性を見出す。

3. 研究の方法

研究は以下の手順で行う。

- (1) 石英振動体型超音波洗浄装置の開発
- (2) 洗浄力評価

4. 研究成果

- (1) 石英振動体型超音波洗浄装置の開発

開発した周波数 1MHz 石英振動体型超音波洗浄装置の外観を示す。装置の特長は、振動体を石英ガラスで製作し、面内の音圧分布が一定になるように、底面を 45° で切断したことである。



図 1 試作したの外観

- (2) 洗浄力評価

図 2 は周波数 1MHz の石英振動体型超音波洗浄装置を用いて、発振器出力に対するシリコンウェハに付着させた PSL 粒子の除去率を示している。この結果は汚染基板を 10 分間の 100°C での熱処理を行った後に、石英振動体型超音波洗浄装置で 5 秒間洗浄した結果である。石英振動体型超音波洗浄装置の底面からの洗浄距離は 2mm である。使用した PSL 粒子径は 0.03 μm 、0.1 μm 、0.2 μm 、1 μm である。発振器出力が高くなるにつれて、各サイズのパーティクルの除去率は高くなる傾向が見られた。また、パーティクルサイズ 1 μm のものが最も除去率が高く、10W で 74% の除去率が得られている。この結果から、発振器出力を増加させればより高い除去率が得られることがわかる。これらの結果は我々の仮説と一致した。

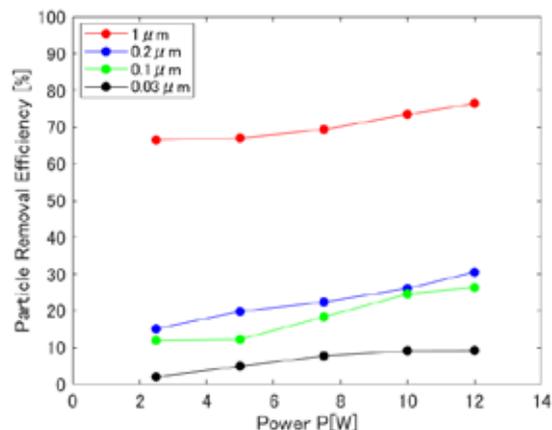


図 2 石英振動体型超音波洗浄装置の発信出力と PSL 粒子の除去率の関係 (周波数 1MHz)

5. 本研究に関する発表

- (1) 高木羅以, 森 竜雄, 一野祐亮, 本多祐二, 疋田智美, 清家善之: 新たな超音波振動体型洗浄装置開発と CMP プロセス応用への可能性, プラナリゼーション CMP とその応用技術専門委員会, (2021).
 - (2) 高木羅以, 西岡聖純, 森 竜雄, 疋田智美, 本多祐二, 清家善之: 超音波振動体型洗浄装置の基礎特性とポリエスチレンラテックス粒子の除去率関係性, 界面ナノ電子化学研究会フォーラム 2020, (2020).
 - (3) Y. Seike, R. Sawaki, R. Shimizu, T. Hikida, Y. Honda, M. Sato, T. Mori, Analysis of Polyethylene Latex Particle Removal Mechanism on SiO₂ Wafer Using Ultrasonic Spray Cleaning, ECS Transactions, 92(2), 199-207, 2019.
 - (4) 村上良輔, 岡田隼樹, 森 竜雄 疋田智美, 本多祐二, 佐藤正典, 清家善之, 超音波振動体型洗浄装置を用いたサブミクロンポリエスチレンラテックス粒子の除去評価, 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会(INE) 第 5 回ポスター展, (2020).
 - (5) 清家善之, 多様化する電子デバイスの物理洗浄 ～スプレー洗浄の有用性とその課題～, 応用物理学会秋季学術講演会, (2019).
 - (4) 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).
- 他 2 件