

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))

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的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スプレー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。超音波スプレー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問題がある。本研究では、本多電子株式会社と共同で、高い周波数 5 MHz から 10 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。本年度の成果は、直径 0.03 μm から 1 μm 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することができた。また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 1 MHz と 3 MHz の 2 種類の超音波スプレー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。さらに、超音波振動体洗浄装置を用いて、フィジビリティスタディを開始した。

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、超音波スプレー洗浄、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 2.0 によると 2020 年に DRAM の最小線幅が 10 nm と示されている。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的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。この超音波スプレー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、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る問題がある。

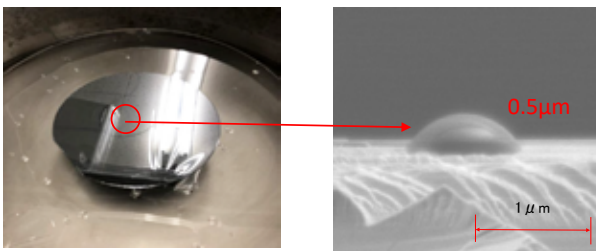
2. 研究の目的

本研究の目的は、超音波スプレー技術を用いて、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 $0.03\ \mu\text{m}$ から $1\ \mu\text{m}$ 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、周波数 $1\ \text{MHz}$ と $3\ \text{MHz}$ の超音波スプレー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

超音波スプレー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、直径 $0.03\ \mu\text{m}$ から $1\ \mu\text{m}$ の PSL 粒子を酸化膜付きシリコン上に付着させたサンプル基板を作製した。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 1 はウェハ上に PSL 散布後、 100°C でバークした時の PSL 粒子の形状を示している。このように加熱することによって PSL 粒子を変形させ、PSL 粒子の付着力を調整させた。



(a) サンプルウェハ基板 (b) 熱処理後の PSL 粒子

図 1 ウェハ上に PSL 散布したサンプル基板

(2) 洗浄実験

超音波スプレー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スプレー洗浄機(型式 W-357-1MPD 周波数 $1\ \text{MHz}$ 最大出力 $40\ \text{W}$) および(型式 W-357-3MPD 周波数 $3\ \text{MHz}$ 最大出力 $40\ \text{W}$) の 2 機種を使用した。超音波スプレー型洗浄はノズルから吐出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。図 2 は実際に汚

れサンプル基板を洗浄している様子である。スピンの回転速度は $50\ \text{min}^{-1}$ で回転させ、その上から 5 秒間超音波スプレー洗浄を行う。その後、回転速度 $1500\ \text{min}^{-1}$ 、30 秒間スピン乾燥する。洗浄評価は、超音波スプレー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 $100\ ^\circ\text{C}$ 、10 分間で行った。また超音波スプレー型洗浄装置の出力は $0\ \text{kW}$ から $40\ \text{kW}$ の 5 水準とした。



図 2 超音波スプレー型洗浄の様子

PSL 粒子 $0.03\ \mu\text{m}$ から $1\ \mu\text{m}$ を散布したサンプル基板を周波数 $1\ \text{MHz}$ の超音波スプレーと周波数 $3\ \text{MHz}$ で洗浄した場合、出力に対する PSL 粒子の除去率をそれぞれ図 3 と図 4 に示す。 $1\ \text{MHz}$ 時も $3\ \text{MHz}$ 時も超音波スプレー洗浄装置の出力(振幅)が大きくなるにつれて除去率が高くなった。当然ではあるが、超音波スプレー洗浄装置の出力が上昇するにつれて、純水に重畳する超音波の振幅が大きくなり、PSL 粒子への流体抗力が大きくなったため、除去率が上がったと考えられる。超音波洗浄を考えた場合、水に重畳した超音波によるキャビテーションによって洗浄させると言われることがあるが、周波数が MHz 帯になると超音波出力による流体抗力による洗浄力が支配的とも言われている。しかし、実際の半導体デバイス洗浄においては、洗浄装置の出力を高くすればよいだけではなく、デバイス上の配線にダメージが生じるために、最適な出力を選択する必要がある。

また PSL 粒子サイズ別に洗浄力を見てみると、PSL 粒子のサイズが小さくなるにつれて、除去率が低下した。この理由は PSL 粒子が小さくなるにつれ、PSL 粒子が受ける流体抗力が小さくなるためと考えている。つまり、半導体デバイスが微細化していくと、洗浄対象となるパーティクルサイズも小さくなる。そのために、高い出力が必要に

なるが、トレードオフとして配線がダメージを受ける可能性も高くなる。ただし、周波数 3MHz 時の PSL サイズ 1 μm の除去率は、0.2 μm より除去率が小さくなった。実験を何度かおこなったが、同じ傾向となる。原因は不明だが、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。

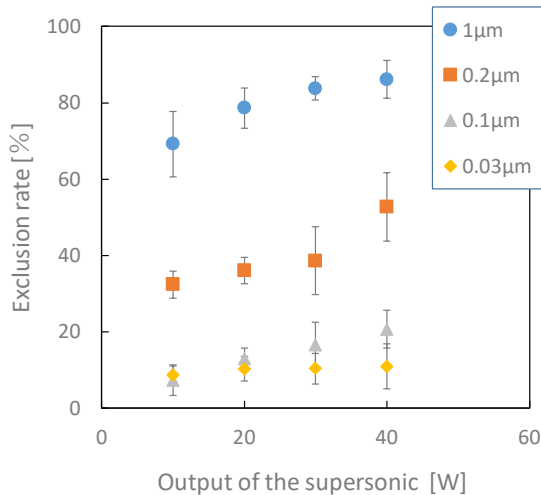


図3 超音波スプレー洗浄(1MHz)の出力に対する各サイズのPSL粒子の除去率

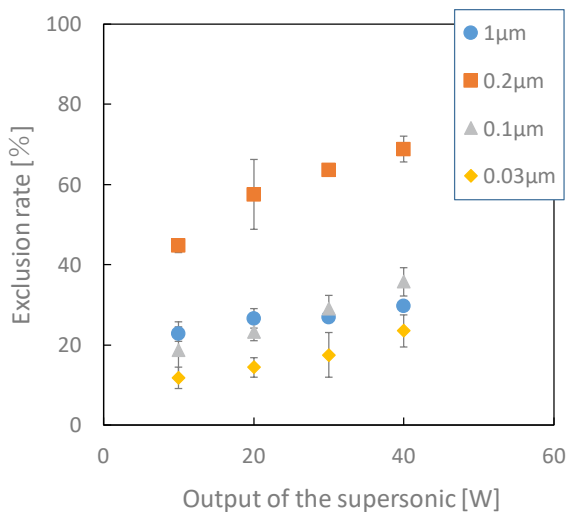


図4 超音波スプレー洗浄(3MHz)の出力に対する

4. 研究成果

本年度は、直径 0.03 μm から 0.2 μm の PSL 粒子を散布したサンプル基板を作製することができた。またこれらのサンプルを用いて周波数 1 MHz と 3 MHz 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) 超音波スプレー洗浄装置のパワー（振幅）が大きくな

るほど、洗浄力は高くなる。

(2) 周波数 1 MHz と 3 MHz 時いずれも、PSL 粒子が小さくなるほど、除去率が低くなる。

(3) 各サイズの PSL 粒子において、除去率に周波数依存があることを確認した。

本論では述べていないが、超音波振動体型洗浄装置を用いて PSL 粒子を用いた洗浄実験を行っている。

5. 本研究に関する発表

(1) 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.

(2) 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).

(3) 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