

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 15 日現在

機関番号：55502

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560428

研究課題名(和文) ディープサブミクロン対応の付着微粒子静電除去技術の基礎開発

研究課題名(英文) Removal of particles adhering to the surfaces of components using electrostatic force

研究代表者

高橋 主人 (Takahashi, Kazue)

大島商船高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80517095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：半導体製造装置に使用される部品に付着している微粒子の除去は、半導体製造にとって重要な技術である。本研究では、静電気力を利用して微粒子を誘電体フィルムに付着させて回収する清浄化技術の基礎特性を評価した。異物が付着した模擬試料として、ガラス球(直径2  $\mu\text{m}$ 以上)をシリコンウエハ表面上に付着させたものを作成した。試料にポリエチレンおよびポリ塩化ビニルフィルムをかぶせ、その上にシリコン電極を置き、試料と電極間に所定の高電圧を印加する。高電圧を切断した後にフィルムを剥がすと、微粒子がフィルムに付着して回収される。5回の繰り返し除去操作で、2  $\mu\text{m}$ 以上の微粒子の約80%以上を除去することができた。

研究成果の概要(英文)：Removal of fine particles adhering to the surfaces of semiconductor device components is a key process for the semiconductor industry. The purpose of this study is to develop a new method for removing such particles using electrostatic force. An upper silicon electrode and a dielectric film of a material such as polyethylene or polyvinylchloride were placed on a lower Si electrode, to which glass spheres with diameters greater than 2  $\mu\text{m}$  were adhered, and a high voltage was applied to the two Si electrodes for 60 s. The glass spheres were adhered to the dielectric film and were removed from the Si substrate. The removal process was repeated several times, and a high removal rate of about 80% was obtained after the fifth iteration.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子デバイス・電子機器

キーワード：微粒子除去 異物低減 静電吸着 ドライ洗浄 静電気力

1. 研究開始当初の背景

(1) 半導体の高集積化と微細化につれウエハ上の対象異物サイズが0.1μm以下に達している。異物低減のために製造装置部品に付着している微粒子を除去する必要があるが、対象微粒子の微細化につれて、その除去が困難になっている。部品表面に付着している微粒子の除去には超音波洗浄が多用されているが、超音波洗浄力は洗浄部品表面に形成される洗浄液の境界層の厚さよりも微細な粒子には作用しにくい。そのため部品洗浄を繰り返すことになり、多量の純水や薬液を使用している。以上の背景から、環境面やコスト面にも考慮した新たな付着微粒子除去法の開発が望まれている。本研究は付着微粒子の除去方法に関する。

(2) 既知の静電気による微粒子除去法[D. W. Cooper, et al., Aerosol Sci. Technol., 13 (1990) 116.]を以下に示す。部品表面に誘電体フィルム(ポリイミドなどの高分子フィルム)をかぶせ、その上に電極を置く。部品と電極との間に数kV程度の高電圧を印加し、部品表面から電極と誘電体フィルムを引き剥がす。部品表面に付着している微粒子が誘電体フィルムに付着して除去される。また、複写機のトナーの着脱においても、高電圧を印加したままで微粒子の除去を行っている。

従来技術の課題は、高電圧印加のままで微粒子を除去しているため安全面の配慮が必要になること、数kVと印加電圧が高いため誘電体フィルムの耐電圧特性が問題になること、などが挙げられる。本研究ではこれらも考慮した微粒子除去法を開発する。

2. 研究の目的

本研究では、従来の液体洗浄とは異なる静電気力を利用した完全ドライな付着微粒子除去技術を開発する。静電気力は微粒子サイズにかかわらずに引剥がし力が作用するので、ディープサブミクロン領域の微細化に対応した技術となり得る。本研究では、特に部品表面に付着した微粒子の除去技術について、さらに安全面に配慮した除去技術について基礎開発する。

3. 研究の方法

微粒子除去特性を調べるため、微粒子はガラス球(直径2~125μm)とし、部品はシリコンウエハ(Si)とした。

ガラス球を付着させたSiの上に、誘電体フィルムとしてポリエチレン(PE)あるいはポリ塩化ビニル(PVC)フィルムをのせる。その上にSi電極をのせる。SiとSi電極間に高電圧を60s間印加する。高電圧の印加を停止した後、Si電極とフィルムを除去すると、Siに付着しているガラス球がフィルムに付着して除去される。

ガラス球は105~125μmの粒径と40~90μmの粒径および2~20μmの粒径の3種類を

用いた。前記2種類の粒径の試料に対してはSi上に約3mm角の領域をけがき、その領域における除去特性を調べた。2~20μm粒径の試料では、直径0.5mmの円形部をエッチングにより形成し、その領域における除去特性を調べた。除去特性は、除去操作の前後の微粒子の個数を光学顕微鏡で計数し、(除去率) = (除去された微粒子個数) / (除去前の微粒子数) × 100 [%] とした。

4. 研究成果

PEフィルムとガラス球(直径105~125μm)の場合、PEフィルムとガラス球(直径40~90μm)およびPVCフィルムとガラス球(直径40~90μm)の場合の除去試験結果を図1に示す。PEフィルムは厚さ0.06mm、PVCフィルムは0.1mmである。

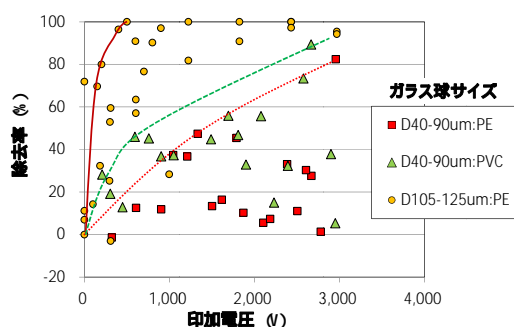


図1. 除去試験結果(印加電圧依存性)

ガラス球のサイズが小さいほど除去率が低く、PEフィルムよりPVCフィルムの方が除去率は高い。また、40~90μmのガラス球に対しては、印加電圧を3kV以上にしないと除去率80%以上が得られていない。フィルムの耐電圧特性から印加電圧を3kV以上にするのは問題がある。

また、除去率のデータのばらつきが非常に大きく再現性に乏しい。ガラス球の除去状態を観察した結果、ガラス球は大小のサイズが混在して付着しており、静電気力を印加した際に、大きなガラス球のみがフィルムと直接接触する、ということが推測できた。

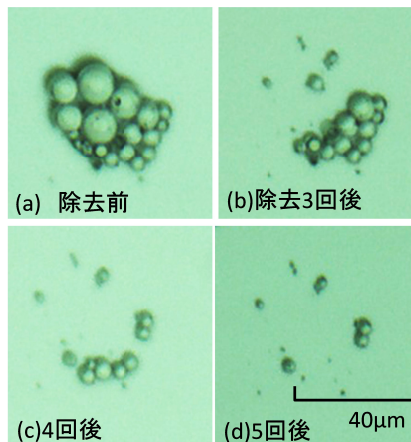


図2. ガラス球の除去過程

図2に除去試験を繰り返し実施した際のガ

ラス球の除去過程を示す。大きなガラス球から順に除去されているのがわかる。以上の結果を踏まえ、除去試験を繰り返した。その結果を図3に示す。

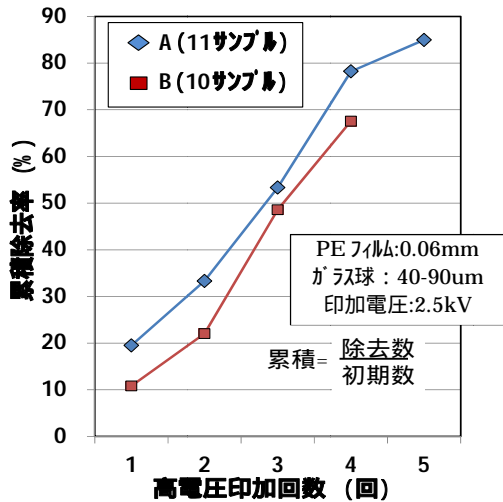


図3. 繰り返し除去試験の結果

除去試験を5回繰り返すことで80%以上の除去率が得られ、上記の考察の妥当性が確認できた。なお、除去試験の繰り返しでは、その都度フィルムを新しいものに交換した。次にガラス球サイズが2~20 $\mu\text{m}$ の場合、PEフィルムとPVCフィルムによる繰り返し除去試験の結果を図4、図5に示す。

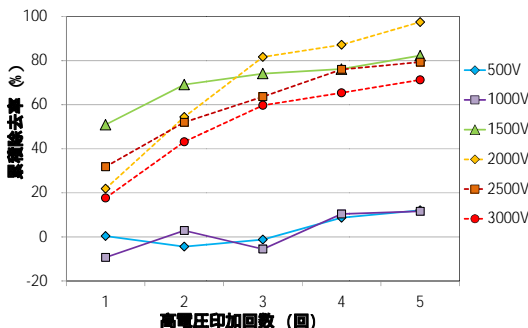


図4. PEフィルムによる除去試験結果

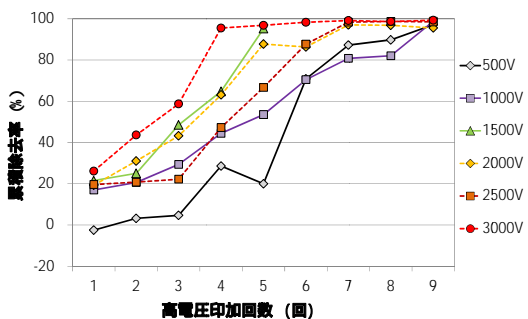


図5. PVCフィルムによる除去試験結果

ガラス球サイズが2~20 $\mu\text{m}$ になっても、除去試験を繰り返すことで高除去率を得ることができた。PVCフィルムの場合は、印加電圧2kV以上であれば、5回の繰り返し除去で80%以上の除去率が得られた。PVCフィル

ムの場合は、1kV以下の印加電圧では除去率が低いままであることもわかった。

誘電体フィルムの種類により除去率が異なることの原因について考察する。微粒子が除去されるためには、ガラス球とSiとの付着力よりガラス球とフィルムとの付着力が大きくなければならない。前者はファン・デル・ワールス力が主である。後者について、PEおよびPVCフィルムとSiとの付着力を測定した。図6にその結果を示す。

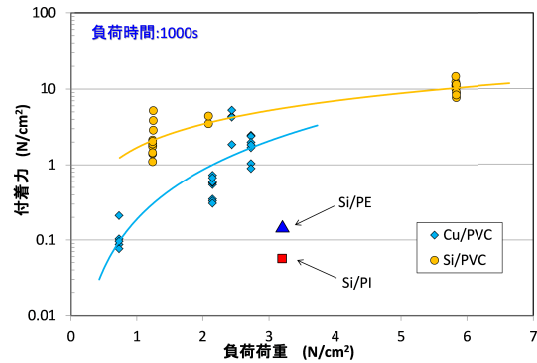


図6. PE、PVCフィルムとSi板との付着力

Si (または銅板) の間にフィルムを挟み、上部Si (または銅板) にはおもりをつけ、所定の時間 (図では1000s) 負荷する。次に一定の速度でおもりを引き上げ、引き剥がし力を付着力として測定した。静電気力の影響を除くため、電圧印加せずにデッドウエイトでフィルムを密着させた。PVCの場合は、PEの場合 (記号) に比較して大きな付着力が発生した。ポリイミドフィルム (記号) はPEよりも付着力が小さい。PVCの付着力は、負荷荷重および負荷時間とともに増加した。PVCの付着力はSiや銅表面との水素結合によるものと推測されるが、いずれにしてもPEより大きな付着力が発生する。

以上の結果から、PVCの除去率がPEより高いのは、PVCとガラス球の付着力がPEの場合より高いことが原因であることがわかった。

フィルムの弾性係数はガラス球のその1/100程度であるため、高電圧印加によりガラス球がフィルムに押し付けられると、フィルムが変形してガラス球の上部表面に接触する。Siとガラス球は弾性係数が同じ程度なので弾性変形の範囲内でしか接触しない。その結果、ガラス球とフィルムの間には発生するファン・デル・ワールス力は接触面積が大きくなったためにより大きくなる。PVCの場合は、さらに図6に付着力が付加される。その結果、直接フィルムと接触したガラス球が除去されたと考えられる。

以上により、次の点を明らかにした。

(1) Si表面に付着したガラス球 (2~125 $\mu\text{m}$ ) の除去において、誘電体フィルムとしてPEあるいはPVCを用い、高電圧を印加して静電気力によりフィルムにガラス球を付着させて除去する方法が有効である。

(2) 付着ガラス球の除去には、フィルムとガラス球が直接接触することが必要であり、1 回目の除去試験では、大きなガラス球のみが除去され、小さなガラス球は2 回目以降の除去試験で除去される。

(3) 5 回程度の除去試験を繰り返すことで、80%以上の除去率が得られた。

(4) 誘電体フィルムとしては、付着力の大きいPVC フィルムが適している。

今後の課題として、(1)1 $\mu$ m 以下のサブミクロン微粒子の除去、(2)部品表面など凹凸のある表面からの微粒子の除去、(3)実際の微粒子のような不定形微粒子の除去、(4)除去装置のシステム化と除去プロセスの構築、などが挙げられる。

〔雑誌論文〕(計2件)

高橋主人、静電吸着によるシリコン表面上の微粒子除去における微粒子サイズの影響、J. Vac. Soc. Jpn., 査読有、Vol. 57, 2014, 140-143

高橋主人、静電吸着によるシリコン表面上の微粒子除去、J. Vac. Soc. Jpn., 査読有、Vol. 56, 2013, 273-276

〔学会発表〕(計3件)

高橋主人、静電吸着によるシリコン表面上の微粒子除去における微粒子サイズの影響、第54回真空に関する連合講演会、平成25年11月26日、つくば国際会議場  
高橋主人、軟質塩化ビニルシートと金属との付着力に及ぼす押付力の影響、第54回真空に関する連合講演会、平成25年11月26日、つくば国際会議場

高橋主人、静電吸着によるシリコン表面上の微粒子除去、第53回真空に関する連合講演会、平成24年11月14日、甲南大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋主人 ( TAKAHASHI, Kazue )  
大島商船高等専門学校、電子機械工学科・教授

研究者番号：80517095