

常温衝撃固化現象を用いたエアロゾルデポジション技術の実用化

研究者：明渡 純 独立行政法人 産業技術総合研究所

先進製造プロセス研究部門 首席研究員

開発企業：佐伯 義光 TOTOファインセラミックス株式会社 代表取締役社長

(推薦者：中鉢 良治 独立行政法人 産業技術総合研究所 理事長)



明渡 純 氏



佐伯 義光 氏

1. 技術の背景

IC、LSIに代表される半導体デバイスは、情報化社会が進むにつれて、高機能化、高集積化が加速し、そのデバイスに用いられる回路線幅はこの10年間で30 nmまで細くなり、生産性は5倍以上まで向上している。

今後、半導体デバイスの細線化・生産性の向上は、益々加速することが予測されている。この中で問題になって来るのは、これらデバイスを生産する時に用いられる製造装置の部材から発生するコンタミネーションやパーティクルの大きさや数であり、半導体デバイスの高集積化の大きな技術課題となっている。

2. 技術の概要

本技術は、半導体製造装置の部材のプラズマ浸食性に優れた低発塵性部材の開発を目的としたものである。

研究者は、産業技術総合研究所にて、セラミックス微粒子を常温で高速に基材へ衝突させるだけで基板上に数～数百 μm のセラミックスの製膜

体を形成するエアロゾルデポジション法の基礎技術を構築し、その後製膜メカニズムの解明から製膜性向上を目的に各種セラミックス材料の製膜に成功した。

エアロゾルデポジション法とは、製膜したいサブ・ミクロンオーダーのセラミックス微粒子と搬送ガスを混合し、まずエアロゾル化させる。そのエアロゾルを、ノズルを使って音速まで加速、噴射させ、基材上に衝突させて製膜体を形成する方法である。図1に本技術で作製した製膜体の透過型電子顕微鏡（TEM）観察像を示すが、膜質は空隙等もなく数十nmオーダーの粒子が凝集した緻密質であることがわかる。本技術の製膜メカニズムである「常温衝撃固化現象」のイメージを図2に示す。まず、音速近く加速された粒子は、基材に衝突して粒子が固体状態のまま基材に侵入しアンカー部が形成される。その上に、次々とセラミックス微粒子が飛来し、継続的な粒子の衝突により粒子が破碎・変形し新生面を形成、再結合する。さらに、その時に発生した微細断片粒子は衝突により粒子間にパッキング、衝突により押し潰され変形を繰り返して緻密な厚膜へと成長する。

従来のセラミックス部材のプロセスは、焼成といった熱プロセスを介して粒子と粒子の熱拡散にて緻密化を促進させた。このことは必然的に部材を構成する粒子は粒成長を起こすことになる。しかし、本技術では熱プロセスを使うことなく破碎・変形といった形で、室温で緻密化できることで、逆に投入原料の粒子径よりも細かい粒子構造で緻密化できることが大きな特徴である。

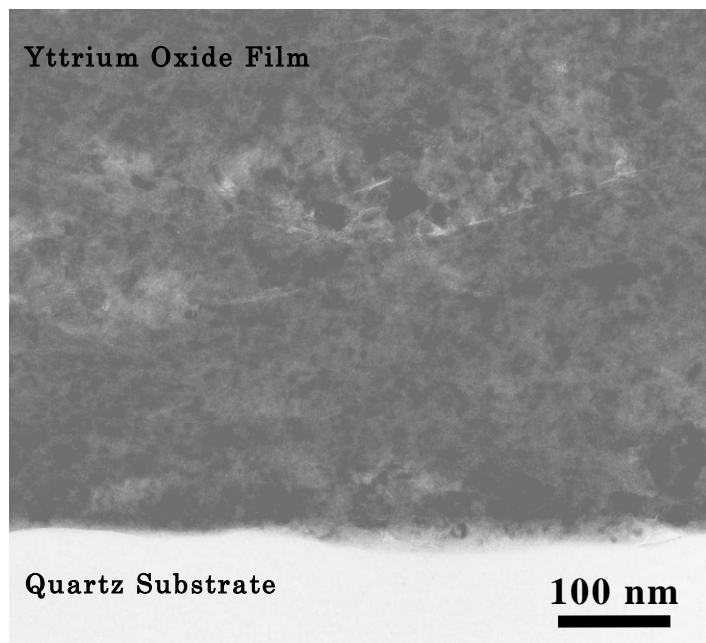


図1 エアロゾルデポジション法製膜体のTEM観察像

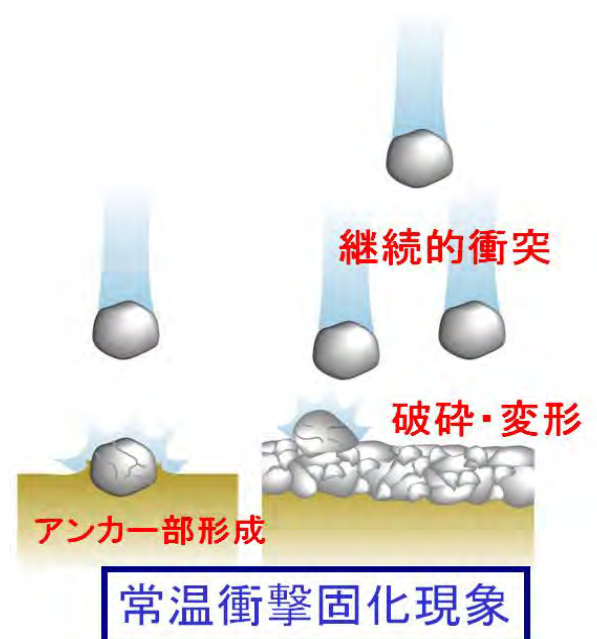


図2 エアロゾルデポジション法の製膜メカニズム図

本技術の有効性については、本技術で製膜した部材（開発品）、既に実用化されているものとして溶射法にて製膜した部材（従来品1）とHIP処理で焼結した部材（従来品2）の3種を準備、実プロセス環境下のハロゲン系ガス中で、照射前後の各種部材の浸食深さと表面粗さの変化、さらに各部材の表面状態の走査型電子顕微鏡（SEM）観察像から腐食性の様子を比較した。開発品は、図3の表面粗さの変化が最も小さく、図4の写真から粒子の脱落が少なくなることを示唆する結果であった。

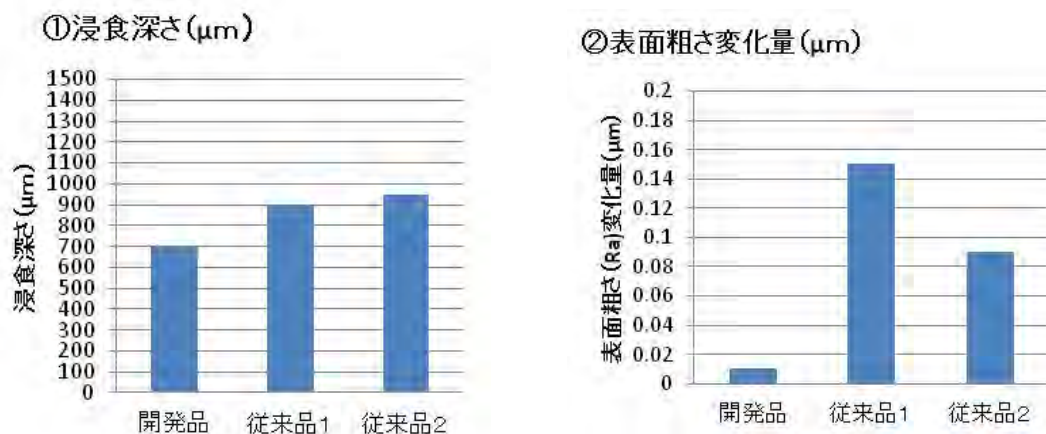


図3 プラズマ照射試験前後での各部材の浸食深さと表面粗さの変化量

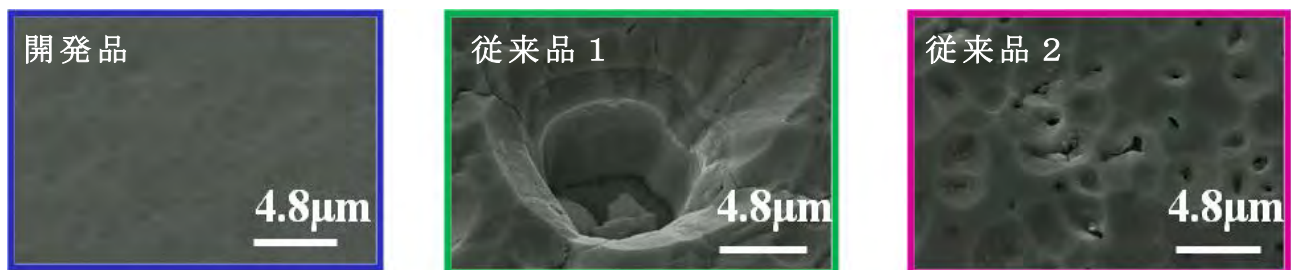


図4 プラズマ照射試験前後での各部材の表面状態SEM観察像

実用化への取り組みでは、共同研究先であるTOTOファインセラミクス株式会社により、HIP処理をしないと焼結しないイットリア(Y_2O_3)材料に適用、常温で形成された膜の緻密性、平滑性、化学的安定性からバルク材を凌ぐ高いプラズマ耐食性を有することを立証し、半導体製造関連装置の構造部材用コーティングとしての適用性を検討した。その結果、溶射法による従来イットリアコーティングよりもプラズマ耐食性、耐摩耗性、吸着ガスや図5に示すようにパーティクル発生の低減など性能面で遥かに優れることを実証した。

次に、産業技術総合研究所における上記成膜メカニズムの解明、最適な原料粒子特性条件に関する知見を元に、製品開発と製膜装置の開発を推進

し、600mm角の大面積高速製膜装置による量産化技術を確立し、世界で初めて本技術利用の工業製品化に成功した。市場・コスト面でも十分に高い事業性があると判断され、2008年10月より次世代半導体製造装置用のプラズマ耐食コーティングとして、事業化、製品化に至っている。

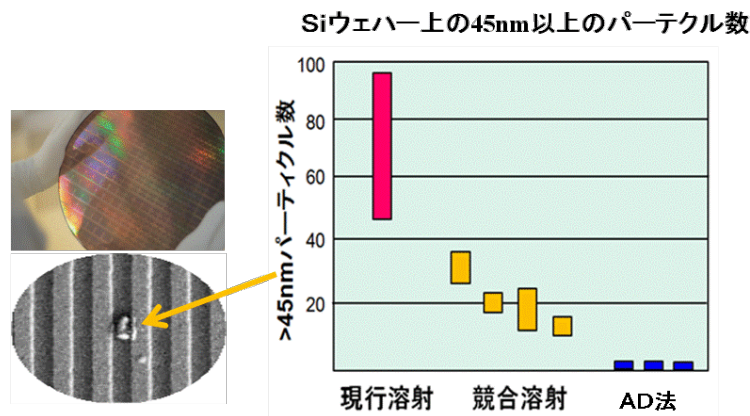


図5 実機におけるウェハー上のパーティクル数比較結果

3. 効果

ムーアの法則に従い半導体デバイスの細線化・高集積化は、18～24ヶ月で集積密度は倍増し、チップの処理能力も倍になり、さらなる小型化が進み、図6に示すように半導体製造関連装置内への低発塵化の要求は急速に高まりつつある。このような背景で、TOTOファインセラミックス株式会社は、2008年より本成果技術を用いたプラズマ耐食部材を事業化してきた。2012年10月以降、回路線幅30nm以下にまで細線化が進み、市場において本技術は不可欠な技術として需要が本格的に立ち上り、以降年6倍のペースで売り上げが伸び、現在、新規部材では世界シェア50%に至っている。

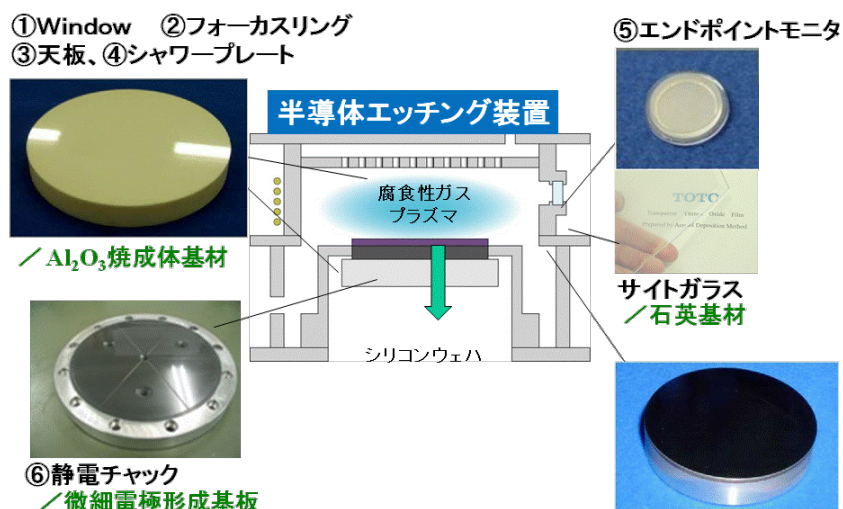


図6 半導体製造装置における低発塵部材の広がり