

## 論 文 要 旨

2022 年 1 月 13 日

※報告番号	甲第 3 1 5 号	氏 名	松本 哲之
主論文題名 フラッシュメモリ製造における反応性イオンエッチング装置部材に関する研究			
内容の要旨 <p>本論文は、フラッシュメモリ製造における反応性イオンエッチング (RIE: Reactive ion etching) 装置部品に関して、長寿命化とパーティクル低減、およびプロセス再現性改善の研究について述べている。</p> <p>スマートフォンなどの電子機器が普及し、世界で生成されるデータ量は、2025 年までに 175 ゼタバイトまで膨れ上がると予想されており、フラッシュメモリが注目されている。</p> <p>フラッシュメモリは低消費電力、かつ大容量化のため 3 次元構造になっている。その製造工程では、高アスペクト比加工が必要となり、低圧力、高パワーでの RIE 処理のため、部品消費量が増加する。近年、3 次元フラッシュメモリの積層数は 100 層を超え、部品消耗に加え、パーティクル低減とプロセス再現性の向上が課題である。</p> <p>この課題に直結する RIE 部品には①フォーカスリング、②チャンバーライナー、③上部電極がある。フォーカスリングは、RIE チャンバー内のウエハー周囲に設置され、外周のエッチングレートを均一にするための部品であるが、わずかな消耗でも外周部のエッチングレート変動やイオンの入射方向が変化する。フォーカスリングの材料は従来シリコン (Si) を用いていたが、よりプラズマ耐性が高い化学気相成長 (CVD: Chemical vapor deposition) 法で作製した炭化ケイ素(SiC)が検討されている。しかし、SiC を用いてもプラズマ消耗によりウエハー外周のエッチングレートが変動し、寿命が数百時間となり交換が必要となる。本論文は、高純度を保つため異種材料を使わない拡散接合を用いたリサイクル技術について述べている。このリサイクル手法は、研削、ドライクリーニング、熱等方圧加圧(HIP: Hot isostatic pressing)、大気焼成、水溶液洗浄の一連のプロセスから成る。SiC フォーカスリングの接合界面の表面粗さを 0.1<math>\mu\text{m}</math> 以下にすることで、強固に拡散接合できることを明らかにした。また、SiC フォーカスリングリサイクルはすでに実用化し、産業廃棄物低減と製造コスト削減を両立し工学的に有用な技術となっている。</p> <p>チャンバーライナーは、従来、表面に大気圧プラズマ溶射 (APS: Atmospheric plasma spraying) 法によるイットリア (<math>\text{Y}_2\text{O}_3</math>) コーティング膜がプラズマ損傷の保護材料として広く使用されている。しかし、APS 法の <math>\text{Y}_2\text{O}_3</math> コーティング膜は、表面および内部欠陥起因のパーティクルによりデバイスの歩留りを悪化させていた。また、コーティング膜表面近傍のラジカル反応、表面積の変化などにより、ウエハー表面のラジカル輸送量とイオンフラックスが変化する。さらに <math>\text{Y}_2\text{O}_3</math> コーティング膜は、<math>\text{CF}_4</math> などの腐食性ガスプラズマにより簡単に腐食され、フッ化反応により構造変化を引き起こし RIE プロセスが変動する。本論文では、衝撃焼</p>			

## 論 文 要 旨

2022 年 1 月 13 日

※ 報告番号	甲第 3 1 5 号	氏 名	松本 哲之
<p>結(CASP: Collision Assisted Sintering Process)法を用いてフッ化イットリウム(YF<sub>3</sub>)コーティング膜を検討した結果を述べている。CASP 法を用いた YF<sub>3</sub> コーティング膜は表面および内部欠陥が少なく、エッチング量、表面粗さ変化、表面の元素組成変化が少ないことを確認している。また、CASP を用いた YF<sub>3</sub> コーティングはすでに実用化しており、プロセス再現性とパーティクル低減のため、RIE 装置の上部電極に使用され工学的に有用な技術となっている。</p> <p>上部電極は、ウエハーに対向設置されるためパーティクルが少ない材料が求められる。その候補として、アルミニウム上に APS 法の Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> コーティングを施した上部電極と Si の上部電極がある。APS 法を用いた Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> コーティングの上部電極では、RIE 条件が高パワーであるため、ガス放出穴付近の Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> コーティング膜が消失する。そのため、ガス放出穴付近ではアーク放電によるパーティクルが発生するだけでなく上部電極が使用不可となる。本論文では、高アスペクト比加工で使用する上部電極の消耗形状に着目し、イオン入射角度が 45°から 75°で消耗し、65°で最大となることについて述べている。また、APS 法のコーティング手順を工夫することで、ガス放出穴側壁部のコーティング膜を厚くし、垂直形状にすることで上部電極の寿命を延ばすことができた。この技術は、高アスペクト比加工 RIE 装置の上部電極ですでに実用しており、工学的に有用である。</p> <p>上部電極に Si を用いる場合、フロロカーボン系ガスと反応すると揮発するためパーティクルになりにくい。高アスペクト比加工の RIE では上部電極を大きくする必要があり、多結晶 Si が使われる。本論文では、多結晶 Si の結晶方位とエッチングレートおよび表面粗さの関係を述べている。Si(111)結晶方位が増加するとエッチングレートは減少し、表面粗さは増加することが確認できた。また、多結晶 Si のエッチングレートと表面粗さの変動はプロセス再現性に関わるため、結晶方位の制御ができれば工業的に有用となる。しかし、結晶方位を制御することは現状困難で新たな技術の開発が望まれる。</p> <p>最後に、今後もフラッシュメモリの大容量化が進むため、プラズマ耐性の高い材料や新規コーティング手法を用いることで部品長寿命化、パーティクル低減、プロセス再現性の改善が可能であることを述べている。</p>			