

# 博士学位論文 審査結果の要旨

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 博士（後期）課程  
博士学位論文審査委員会

主 査	本間 哲哉
審査委員	石川 博康
審査委員	上野 和良
審査委員	山口 正樹
審査委員	高木 茂行
*審査委員	

氏 名	松本 哲之
論文題目	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
〔論文審査の要旨〕	
<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）装置部材に関するものであり、フォーカスリングのリサイクル方法、チャンバーライナーや上部電極のパーティクル低減とプロセス再現性の改善について述べている。</p> <p>本論文は、第1章～第7章で構成され、第1章では、本研究の背景、目的、意義、論文構成について述べている。</p> <p>第2章では、RIE装置部品の現状と課題を述べている。フラッシュメモリは3次元構造であり、製造工程では、高アスペクト比のRIE加工が必要である。RIE加工は、低圧力、高電力のプラズマ処理であり、装置部品の消耗量低減が課題である。また、3次元フラッシュメモリ製造装置では、パーティクル低減とプロセス再現性向上が課題である。</p> <p>第3章では、拡散接合技術を用いるSiCフォーカスリングのリサイクル方法を提案し、接合界面の粗さ、研磨・洗浄方法を検討した結果を述べている。フォーカスリングは、RIEチャンバー内のウエハー外周のエッチングレートを一均一化するための部品であるが、消耗により外周部へのイオン入射方向が変化するため、エッチングレートが変動する。従来、フォーカスリングの材料にはSiやSiCを用いているが、数百時間で交換が必要となる。本研究で提案しているSiCフォーカスリングのリサイクル技術は、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<math>0.1\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。本提案のSiCフォーカスリングリサイクルはすでに実用化しており、産業廃棄物低減と製造コスト削減に寄与している。</p> <p>第4章では、プラズマによる損傷・摩耗保護用のチャンバーライナー材料として、大気圧プラズマ溶射（Atmospheric Plasma Spraying, APS）法と衝撃焼結（Collision Assisted Sintering Process, CASP）法により形成した<math>\text{Y}_2\text{O}_3</math>膜、<math>\text{YF}_3</math>膜について、プラズマ耐性を比較検討した結果を述べている。従来、チャンバーライナー材料には、APS法で形成した<math>\text{Y}_2\text{O}_3</math>膜が広く使用されているが、<math>\text{Y}_2\text{O}_3</math>膜表面・内部欠陥起因のパーティクル発生により</p>	

デバイスの歩留りを悪化させていた。また、膜表面近傍のラジカル輸送量とイオンフラックスが変化することや、 $\text{CF}_4$  などの腐食性ガスプラズマによる腐食が発生し、プラズマ状態が変化する。CASP 法で形成した  $\text{YF}_3$  膜は表面・内部欠陥が少なく、膜厚減少、表面粗さ変化、表面の元素組成変化が小さいことが判明した。CASP 法で形成した  $\text{YF}_3$  膜はすでに実用化しており、プロセス再現性向上とパーティクル低減に寄与している。

第 5 章では、プラズマチャンバー内の上部電極のガス放出穴垂直化による長寿命化を検討した結果を述べている。従来、上部電極の材料には、Si や Al 母材上に APS 法で  $\text{Y}_2\text{O}_3$  膜を形成したものを用いていた。APS 法により  $\text{Y}_2\text{O}_3$  膜を形成した上部電極では、ガス放出穴付近の消耗が大きく、アーク放電によりパーティクルが増加するため、実用が難しかった。本研究ではイオン入射角  $45^\circ \sim 75^\circ$  での消耗量を検討した結果、 $65^\circ$  で消耗量が最大になることが明らかになった。ガス放出穴側壁部の  $\text{Y}_2\text{O}_3$  膜を厚くし、垂直形状にすることで上部電極を長寿命化でき、実用化に寄与している。

第 6 章では、上部電極材料に用いる多結晶 Si の結晶方位、エッチングレート、表面粗さの関係を精査した結果を述べている。高アスペクト比 RIE 加工装置の上部電極には、大面積化が可能な多結晶 Si を用いている。Si(111)結晶面の配向が強くなるとエッチングレートは減少し、表面粗さが増加することが判明している。多結晶 Si の (111) 面配向性を高めることで、プラズマ耐性を向上し長寿命化できることを明らかにしている。

第 7 章では、本研究を通して得られた結果、結論、残る課題と将来展望について述べている。本研究で得られた成果は、フラッシュメモリ製造用の RIE 装置の高性能化への指針を与えるものである。

最終審査では、予備審査での指摘事項を基に修正・加筆を行った論文について、約 60 分間の発表（公聴会）があり、多数の有意義な質疑応答がなされた。引き続き開催した審査委員会では、予備審査での指摘事項の修正・加筆部分についての説明があり、不十分な部分の再修正・加筆を行うように指示があった。

最終審査結果：評価シートの結果と併せて審議し、投票の結果、博士学位論文として十分な内容であり、審査委員 5 名全員が合格と判定した。

本研究に関する論文・学会発表

- ・査読付き論文：2 編（英文）
- ・国内学会口頭発表：4 件

以上