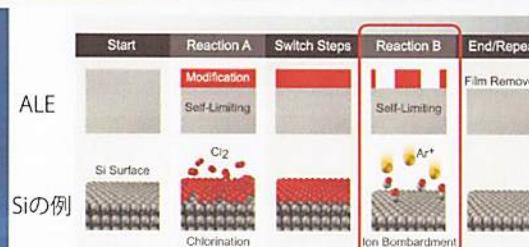
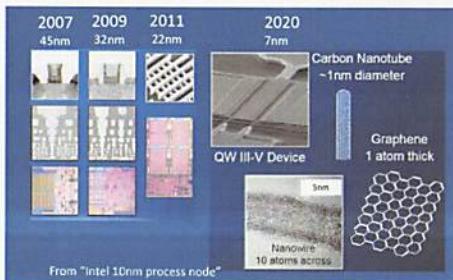


概要

数eV/atomという超低エネルギーであるガスクラスターイオンビーム(Gas Cluster Ion Beam: GCIB)を用いて原子層エッチング(Atomic Layer Etching: ALE)を行う技術を紹介します。反応性ガスの吸着、排気、表面改質層のGCIBによる除去を繰り返して行うことにより、低損傷・低温での原子層エッチングが可能となり、最先端デバイスで必要な原子レベルでの加工を実現します。

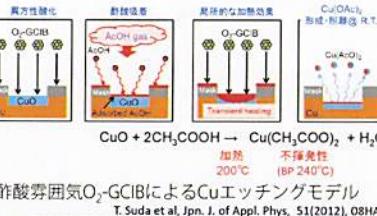
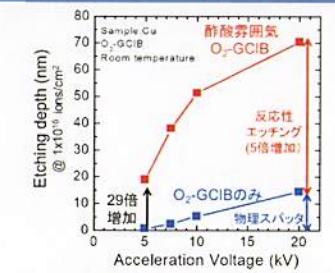
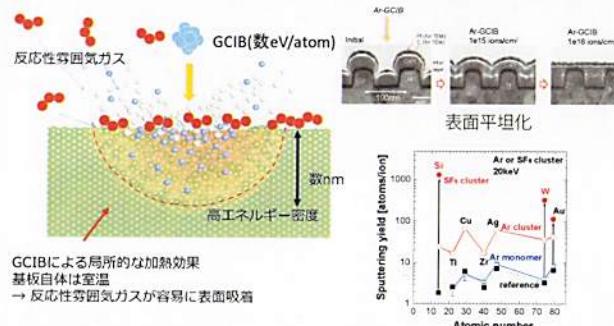
研究背景



低温・低損傷化出来るか？

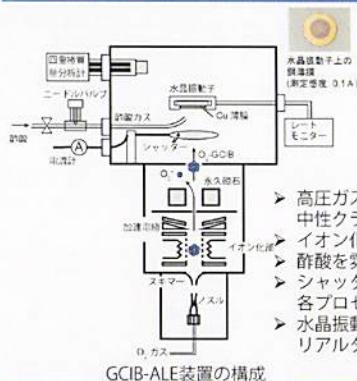
デバイスの微細化(<10nm)や二次元層状物質といった新材料の登場により、原子レベルでの加工が求められており、原子層エッチング(Atomic Layer Etching: ALE)が再び注目されています。ALEでは、自己停止する表面吸着と変質層除去を繰り返すことにより、原子層を一層ずつエッチングすることができます。この変質層除去を低損傷・低温で行うことが重要となっています。

GCIBの特徴

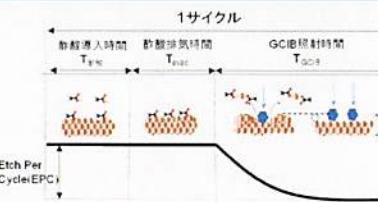


GCIBは数千個の原子・分子が結合した巨大粒子であり、数eVといった超低エネルギーを実現します。一方、原子が集団で衝突するため、表面は高密度のエネルギー状態となります。この特有の現象により、低温での表面反応促進・表面平坦化・低損傷加工など、単原子イオンでは実現できない照射効果が得られます。

GCIB装置と実験方法



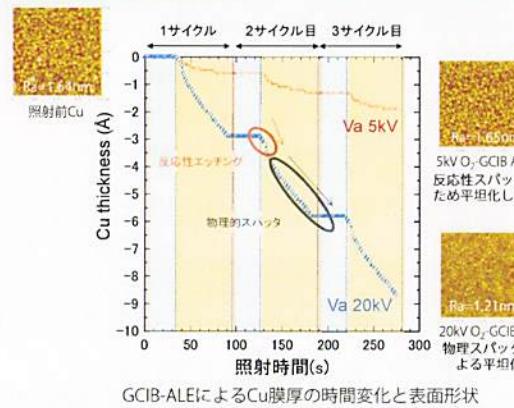
- 高圧ガスを真空中に噴出させ 中性クラスターを形成
- イオン化後、O₂-GCIBのみ照射
- 酢酸を雰囲気ガスとして導入
- シャッター・バルブを用い、各プロセスを単独で行う
- 水晶振動子上のCu薄膜厚さをリアルタイム測定



GCIB-ALE実験条件

- O₂-GCIB → Cu薄膜(水晶振動子上)
- 酢酸分圧: 2e-3 Pa
- Va: 5 - 20 kV (2 ~ 8 eV/molecule, クラスターサイズ2500)
- 基板温度: 室温 (水冷)
- T_{etch}, T_{evac}, T_{GCB}を変化させる

GCIBによる原子層エッチング



GCIB-ALEによるCu膜厚の時間変化と表面形状
N. Toyoda, A. Ogawa, J. Phys. D: Appl. Phys., 50 (2017) 184003.

Va 20kV

- 酢酸吸着したCuO層がO₂-GCIBによる反応性スパッタにより高いエッチングレートを示す。
- 一方、物理的スパッタでもエッチングは続く。
- →自己停止しない
- 物理的スパッタにより、表面平坦化。
- エッチング後にCuO層が存在。

Va 5kV

- 酢酸吸着したCu,CuO層がO₂-GCIBによる反応性スパッタにより反応性エッチングされる。
- 反応性スパッタのみが起こるため平坦化は生じず。
- 表面層除去後、物理的スパッタは起こらずエッチングは自己停止。
- → ALEを実現

まとめ

- ✓ 5keV O₂-GCIB(~2eV/molecule)により、原子層エッチングを実現。
- ✓ ビームプロセスであるため、ウェハーの任意箇所への照射が可能であり、高精度面内分布補正が可能。
- ✓ 各種ターゲット・反応性分子を組み合わせ、磁性膜・2D材料などへのGCIB-ALE条件の探索を行う。