

金属酸化物を用いたエレクトレット新材料

～バッテリーレスデバイスの実現に向けて～

工学研究科 電気物性工学専攻

教授 ならやすお 奈良安雄 M2 のぐちかずま ◎野口和馬

キーワード

IoT, エレクトレット発電, エレクトレット材料, HfO₂, 酸素欠損, 保持電荷量, 金属酸化物

研究概要

近年、環境エネルギーを効率良く電力として利用する方法としてエレクトレットを用いた振動型発電素子(図1)が注目されており、その高性能化に向けてより多くの電荷を保持するエレクトレット材料の探索が必要となっている。一方で、MOS トランジスタの高誘電率(High-k)ゲート絶縁膜は材料中の欠陥レベルを介して帯電する特徴があることから、エレクトレット材料の新たな可能性として期待される。

本研究では、代表的な High-k 金属酸化物の HfO₂, Al₂O₃ および ZrO₂ を比較し HfO₂ が最も電荷保持特性が優れていることがわかっていて。そこで、エレクトレット新材料として HfO₂ を用いた MOS 構造の検討を行い、電荷量の増大に適した製法を検討した。洗浄/HF 処理された Si 基板に直接 HfO₂ を成膜し熱処理を施すことで界面層の形成が確認された(図2)。これは HfO₂ 膜中の酸素が Si 基板へ移動し、Si 基板が酸化されたことを示している。その結果 HfO₂ 膜中に酸素欠損が生じ、電荷量の増大に繋がると考えられる。実際に、Si 基板と HfO₂ との間にあらかじめ SiO₂ (初期 SiO₂) を形成した場合と比較すると電荷量が大幅に増加することが確認された(図3)。この製法を用いて最適化を行った結果、電荷量が $9.0 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ と高い数値が得られ、エレクトレット新材料として有望であることがわかった(表1)。

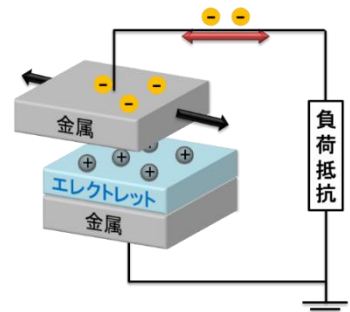


図1 エレクトレット発電

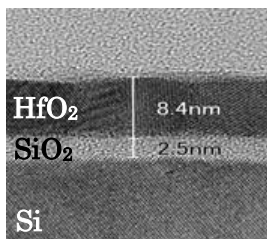


図2 断面 TEM 像

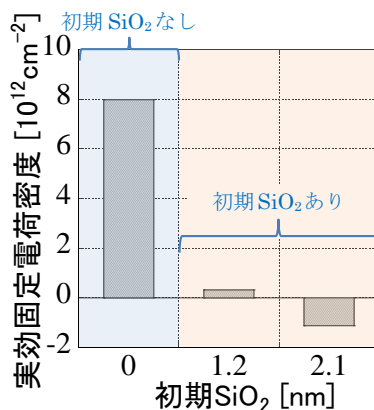


図3 膜中電荷量と初期 SiO₂膜厚

表1 エレクトレット材料比較

エレクトレット材料	蓄積電荷密度 [10 ¹² cm ⁻²]
CYTOP	1.25
SiO ₂ (B注入)	5.1
SiO ₂ (P注入)	7.7
HfO₂ (本研究)	8.0~9.0

アピールポイント

研究の独自性/優位性

- 1) 酸化という簡便な方法のみで電荷を蓄積できるのでコスト削減が期待される。
- 2) 既存の半導体製造プロセスで製造可能である。
- 3) 現行材料 CYTOP と比較すると最大 7.2 倍もの発電量の増大が期待できる。

エレクトレット発電を IoT 機器へ搭載することにより電池交換や配線が不要となり、将来的にはバッテリーレスデバイス向けの新材料として期待される。