

情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム  
2020年度採択研究代表者

2022年度  
年次報告書

清水 荘雄

物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点  
独立研究者

ウルツ鉱型極性材料による強誘電トンネル接合素子の創製と物性解明

## 研究成果の概要

本研究では新規強誘電体材料であるウルツ鉱型強誘電体材料について、強誘電体トンネル接合素子応用を目指した材料開発と、特に界面に着目した強誘電体物性の解明を目的として研究を行っている。特に、ウルツ鉱型強誘電体材料の持つ、本研究ではウルツ鉱型極性物質のもつ1) 抗電界が大きい、2) 巨大な自発分極、3) 六方晶構造という異方性の結晶構造を生かした強誘電体デバイスの創製を目指している。三年次にあたる2022年度は、(1) (Al,Sc)N強誘電体の物性制御として歪を利用した強誘電体特性の変調、(2)無置換AlNの強誘電性の発現を行った。

(1) (Al,Sc)N強誘電体の物性制御として歪を利用した強誘電体特性の変調については、基板との熱膨張率差を利用した熱歪を利用することによって、(Al,Sc)N膜の歪を変調させた。結果として、熱膨張率の小さい基板を用いた場合に小さな残留分極および低い抗電界を得ることができることが明らかになった。これ熱膨張率の小さな基板を用いた場合、膜に引張り歪が導入され格子が扁平に変形されることによって、カチオンの原子位置がアニオン四面体底面の中心位置に近づき、分極反転のために超えるべきエネルギー障壁を低下させたためであると考えられる。

(2)の無置換AlNの強誘電性の発現については、これまで完全な分極反転に関する報告がなかったカチオン置換が全くないAlNについて、完全な分極反転を確認したものである。抗電界を低下させることができる中温域での測定に加えて、成膜温度を低下させたことにより絶縁破壊電界の良化も達成し、室温での分極反転の確認を行った。これは、これまでScなどの置換元素が分極反転の核となっているという従来の予想と異なるものであり、ウルツ鉱型材料の分極反転機構の解明につながる重要な成果である。また、これら以外の成果として、(Ga,Sc)N系における強誘電特性のSc濃度依存性等についても研究を進めた。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Masato Uehara, Ryouichi Mizutani, Shinnosuke Yasuoka, Takao Shimizu, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, and Hiroshi Funakubo, , “Lower ferroelectric coercive field of ScGaN with equivalent remanent polarization as ScAlN,” *Appl. Phys. Express*, **15**, 8, 81003, 2022.
- 2) Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Reika Ota, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, and Hiroshi Funakubo, , “Tunable Ferroelectric Properties in Wurtzite (Al<sub>0.8</sub>Sc<sub>0.2</sub>)N via Crystal Anisotropy,” *ACS Appl. Electron. Mater.*, **4**, 11, 5165–5170, 2022.
- 3) Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Reika Ota, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Shintaro Yasui, Yoshitaka Ehara, Ken Nishida, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Yasuhiko Imai, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo, , “Enhancement of crystal anisotropy and ferroelectricity by decreasing thickness in (Al,Sc)N films,” *J. Ceram. Soc. Japan*, **130**, 7, 21184 2022.
- 4) Kota Hasegawa, Takao Shimizu, and Naoki Ohashi, , “Lattice deformation and phase transition of aluminum nitride studied by density functional theory calculations,” *J. Ceram. Soc. Japan*, **130**, 7, 21190, 2022.