

リアル空間を強靱にするハードウェアの未来
2022 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

前田 拓也

東京大学 大学院工学系研究科
助教

強誘電体/窒化物系半導体ヘテロ接合による革新的トランジスタの創成

研究成果の概要

2022年度は、まずスパッタ成長による ScAlN 成長条件の確立に取り組んだ。GaN/サファイア基板上や GaN/SiC 基板上、GaN バルク基板上に ScAlN をパルススパッタ法によって様々な成長条件でエピタキシャル成長し、その結晶性を原子間力顕微鏡(AFM)や X 線回折(XRD)測定によって評価した。組成 0-31%の範囲で GaN 上に表面平坦かつコヒーレントにエピ成長できていることが確認できた。一方で、成長温度によって c 軸格子定数の Sc 依存性が異なることが確認された。特に、比較的低温の際(~450°C), Sc 増加に対して c 軸格子定数が単調増加しており、高温(> 600°C)の際には、Sc 組成 20%程度までは Sc 組成増加に伴って c 軸格子定数も増加するが、20%以上で減少することがわかった。コヒーレント成長している場合、c 軸長は増加すると考えられ、格子緩和した場合に c 軸長が減少すると考えられることから、比較的低温の成長条件の方が高品質な薄膜を成長できることがわかった。また、先行研究のデータと本研究のデータを合わせ、機械学習を行うことで、各成長温度における c 軸格子定数の Sc 組成依存性をモデル化した。これらの成果は、応用物理学会で発表し[1], 現在学術論文を執筆中である。

また、東京大学の武田先端知クリーンルームを用いて HEMT プロセスに必要な基礎技術の確立に取り組んだ。特に塩素系 ICP-RIE による素子分離や再成長 GaN コンタクト層形成、電子線リソグラフィを活用した数十 nm オーダーの短ゲート形成など、順調に技術ノウハウ確立を進めている。2023年度はデバイス試作に本格的に取り組む、ScAlN/GaN HEMT の動作実証を目指す。

上記の研究に加え、ScAlN/GaN HEMT のデバイス設計・モデリングに向けて、様々な Sc 組成・膜厚の ScAlN/GaN ヘテロ接合に誘起される二次元電子ガスの密度について、数値計算によって系統的に調べた。Sc 組成増加につれて自発分極は増加するが圧電分極は減少するため、二次元電子ガス密度はわずかに減少することがわかった。また、ScAlN 膜厚増加につれて二次元電子ガス密度は増加し、高周波 HEMT 作製上で望ましい 5-20 nm 程度の膜厚に対して $3-6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ のシートキャリア密度が得られた。これは、AlGaIn/GaN HEMT の典型的な電子密度 $\sim 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ より数倍大きい値であり、ScAlN をバリア層に用いる有用性を定量的に示せたと言える。これらの成果については、国内会議[2]で発表した。

2023年度では、上記の結晶成長技術やデバイス作製技術、シミュレーションの知見を活用し、ScAlN/GaN HEMT の試作実証に取り組む。また、スパッタ成長と並行して、分子線エピタキシー(MBE)による ScAlN 成長技術確立にも取り組む。加えて、強誘電性の評価やデバイス特性との関係を明確化し、強誘電性を生かした新しいデバイスとしての応用を提案・実証することを目指す。

【代表的な原著論文情報】

- 1) 小林篤, **前田拓也**, 本田善央, 上野耕平, 藤岡洋,
“スパッタ法でエピタキシャル成長させた ScAlN 薄膜の特性評価”,
第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-B401-4, 上智大学, 2023/03.
- 2) 若本裕介, 小林篤, 中野義昭, **前田拓也**,
“ScAlN/GaN ヘテロ接合界面における二次元電子ガス濃度の数値計算”,
第 15 回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会, 山形テレサ, 2023/06.