

国際科学技術協力基盤整備事業 日本-台湾研究交流

「AIシステム構成に資するナノエレクトロニクス技術」領域 事後評価報告書

1 共同研究課題名

「ナノスケール強誘電体トランジスタの研究開発と機械学習アクセラレータへの応用」

2 日本-相手側研究代表者名（研究機関名・職名は研究期間終了時点）：

日本側研究代表者

小林 正治(東京大学 大学院工学系研究科 准教授)

台湾側研究代表者

蘇 俊榮(国立陽明交通大学 電子物理學系 准教授)

3 研究概要及び達成目標

本研究交流は、IoT エッジデバイスで必要となるエネルギー効率の高い機械学習アクセラレータの実現を目的として、強誘電体トランジスタ(FeFET)のデバイス技術と回路・システム設計技術の研究開発を行った。日本チームは FeFET のデバイス設計・評価とプロセス要素技術の研究開発を行い、台湾チームは FeFET のプロセスインテグレーションと回路・システム設計を行う体制を組んだ。

これにより、HfO₂系強誘電体をゲート絶縁膜に用いたフィン型 FeFET の試作技術を確立し、2V 程度のメモリウィンドウと 10⁵ 回を超える書き換え耐性を実現することを目標とした。さらに、このメモリ機能を、リアルタイムでの機械学習が可能な回路システムに実装するための基盤技術の確立を目指した。

4 事後評価結果

4.1 研究成果の評価について

4.1.1 研究成果と達成状況

日本チームでは、HfO₂系強誘電体の基礎物性研究をもとに FeFET のデバイスモデルを構築した。台湾チームでは、ナノスケールのフィン型 FeFET を試作し、2V の良好なメモリウィンドウ特性と書き換え耐性 10⁶ 回以上の高い信頼性を実証した。さらに日本側開発のデバイスモデルに基づき台湾チームと共同で、深層学習回路の重み係数に用いる際に必要となるメモリ特性の線形性と強誘電体グレインばらつきの関係を精査し、パターン認識の高精度化の手法を明らかにした。以上は、実用的にも重要な、極めてレベルの高い知見である。一方、コロナ禍の影響で台湾の試作設備が1年あまり使用できなかったことに併せて台湾側代表研究者の所属異動も重なり、メモリアレー回路の試作や AI アクセラレータとしての認識特性評価までに至らなかったのは惜しまれるところである。

これらの成果に基づき、台湾チームとの共著論文 3 報、日本側のみによる論文 4 報を発表した。口頭発表は、台湾チームとの連名発表 4 件、日本側のみ発表 11 件を数える。共著論文のうち1件は、IEEE Journal of Electron Devices

Society に掲載された年間最優秀論文として今年の Leo Esaki Award の受賞が決定している。

4.1.2 国際共同研究による相乗効果

日本側のナノスケール FeFET のモデリング・評価技術、プロセス要素技術と、台湾側の微細トランジスタ作製技術、回路設計・シミュレーション技術の相補的な強みを糾合することで、強誘電体の物性研究から微細トランジスタのモデリングと試作、回路設計・シミュレーションまでを達成できたのは、まさに国際共同研究の相乗効果である。

4.1.3 研究成果が与える社会へのインパクト、我が国の科学技術協力強化への貢献

FeFET を深層学習の重み係数メモリに用いて極低消費電力の AI システムを構築することは、広く注目を集めている研究テーマであるが、未だに必要な技術が確立されておらず実用化の見通しがついていない。本研究成果は、日本側の強誘電体材料物性やナノスケールデバイスについての基礎的な知見と台湾側の微細トランジスタ作製技術、回路設計・シミュレーション技術に基づき、FeFET の AI システム実証に筋道を与える成果である。双方それぞれの強みに基づく協力が分野融合的な研究に有効であることを示すモデルケースと言える。

4.2 相手側研究機関との協力状況について

コロナ禍で対面での会議はほとんどで実行できなかったが、毎月のリモートミーティングを実施したことは、共同研究の推進や若手研究者の育成に大いに役立ったと評価できる。これによって、若手の同じ年代の研究者の間で協働関係が構築されており、今後の継続的關係が十分に期待できる。

4.3 その他

対面で若手研究者同士が直接交流できていれば、さらに密な情報交換や関係深化につながった可能性が高い。本課題の終了間際に初めてこのような交流活動が行われたところであり、今後も関係の継続発展を期待する。

以上