

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年1月31日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
東京大学・大学院新領域創成科学研究科
[職・氏名]
教授・喜多浩之
[課題番号]
JPJSBP 120217402

1. 事業名 相手国: 中国 (振興会対応機関: NSFC) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 高性能メモリへ向けた強誘電性酸化ハフニウムの信頼性および分極反転の速度論の研究

(英文) Study on reliability and switching kinetics of ferroelectric hafnium oxide thin films for high performance memory devices

3. 共同研究実施期間 2021年4月1日 ~ 2023年12月31日 (2年9ヶ月)【延長前】 年 月 日 ~ 年 月 日 (年 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Shanghai Jiao Tong University・Associate Professor・Xiuyan Li

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		4,350,000 円
内訳	1年度目執行経費	1,425,000 円
	2年度目執行経費	1,425,000 円
	3年度目執行経費	1,500,000 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	16 名
相手国側参加者等	8 名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	0 (0)
2年度目	0	0	0 (0)
3年度目	6	0	4 (2)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

現在、台湾、韓国、中国などアジア諸国は最先端デバイスの製造拠点を多く持ち、世界の半導体プロセス技術をリードする地域となっている一方、我が国では先端デバイス開発を支える材料科学分野の研究とその蓄積された知見は依然として世界をリードする水準にある。産業上の国際協力には多くの障壁があるものの、基礎科学レベルでの国際的な交流を積極的に推進することは相互に大きな恩恵があることは間違いない。そこで本研究交流では、特に強誘電デバイスへの応用が検討されている HfO_2 薄膜とその関連材料を対象として、同研究分野で積極的に成果を発信している上海交通大学との研究交流を進めることで、同分野で東アジア地域のプレゼンスを高めるような共同研究の枠組みを構築することを目的とした。またこれと同時に上海交通大とのオンラインや対面での会議を通じた深い議論、また現地への相互訪問・交流の機会を通じ、将来の国際的に活躍する研究者の候補と考えている大学院生へのさらなる教育効果を期待した。

研究交流を開始した 2021 年から翌年までは covid-19 の感染拡大状況がひどく、特に相手国(中国)との相互訪問はとても考えられない状況であった。そこで 2021 年度～2022 年度はオンラインでのミニワークショップを定期的に開催して東大と上海交通大のそれぞれの研究成果を情報交換し、議論することを行った。また、ミニワークショップで交換した知見を参考にして学会発表等を通じて積極的な成果発信を行った。一方、2023 年度になると、まず日本、次いで中国にて covid-19 が収束し相互訪問も可能な状況となった。2023 年 9 月には、上海交通大から Prof. Xiuyan Li を含む 4 名が東大を訪問し、対面での議論を行い、さらに 11 月には東大から研究代表(喜多)を含む 6 名が上海交通大学を訪問した。このように最終年度になってようやく当初の目的であった、両大学の大学院生らが交流し、相互に刺激を与えあう状況を達成できたと考えている。実際、学生同士が意気投合し、次世代の若手研究者の文化的な交流という観点でも非常に実りある 1 年となった。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

強誘電性 HfO_2 薄膜は、次世代の不揮発性メモリの候補材料としての応用研究が各企業で活発化しているが、その材料学的観点での基礎研究は十分に進んでいない。本研究交流では、特に構造歪みが強誘電性にどのような影響するのかという理解、また薄膜中の酸素欠損がデバイスの信頼性に与える影響の理解の深化を進めた。構造歪みの影響については、薄膜成長や熱処理に伴う結晶化過程における影響と、デバイス形成後に分極反転操作をしたときの影響、の2つの異なる場面において、歪みは異なる役割を果たしていることがわかり、統合的な理解が進んだ。これらの知見は将来の能動的な制御による特性向上の可能性につながるものである。

新たな知見としては、例えば上海交通大からは、素子形成に伴う構造歪みを能動的に制御する手法が提案され、また東大からは、構造歪みの大きさが信頼性に与える影響の定量的な評価とともに、分極反転時に歪みを与えるだけで強誘電性に可逆的な変化が生じるという発見があった。また HfO_2 中の酸素欠損の影響の定量的な評価も東大・上海交通大の両方で大きく前進した。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

前項に記載の、構造歪みによる強誘電性 HfO_2 薄膜の特性への影響の理解については、東大と上海交通大が相互の実験結果を互いに参照しあって効率よく研究が進捗したことで、それぞれの大学の研究グループから多くの研究成果発表につながったことを強調したい。例えば東大において結晶性変化の検出のために実施した実験手法を参考にして、上海交通大でも類似の方法を用いた別な目的の実験を行う、などの協力関係を築いてきた。また、定期的な情報交換によって、歪みによって与えられる様々な特性変化を多角的に見ることができ

たことで、統合的な理解が進んだ。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本研究交流の相手国(中国)は、急速に半導体デバイス製造技術を発展させており、優秀な研究者とともに多くの先進的な研究成果が発表されている。国境を越えて製造技術について協業することには様々な障害があるものの、基礎科学の分野に限定しながら、デバイス材料の物性調査や、不明な挙動の解明などの共通の課題に対する学術的な協力は我が国にも大きな恩恵がある。特に、本研究交流で対象とした強誘電性 HfO_2 薄膜は、応用研究が世界中で企業を中心に進められている中で、まだまだ基礎物性の理解は不十分であり、この学問分野で先進的な成果を出している中国の研究者と、日本国内で同材料について専門的な知見を持つ研究者が協力して取り組むことは大変有意義である。実際に、これまで未解明であった構造歪みによる HfO_2 の特性への影響、酸素欠損による影響について定量的な調査が進んだことは本研究交流の大きな意義であった。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

一連の研究交流の機会は、大学院生には大きな刺激となった。これまでは海外研究者との議論の機会は、年に1〜2回の国際会議への参加のときに限られていたが、2021 年からはこれが倍増し、東大の大学院生にとっては英語での講演、質疑応答を行うよい機会となった。特に 2023 年からは、相互に現地を訪問することで文化的な交流を行うことができ、互いの国の大学院生がどんな生活をし、どんな施設で研究活動をしているのかを客観的に見ることで、互いを刺激し合った。こうした刺激は研究の態度にポジティブな影響を与え、また将来に国際会議で発表したり、議論する際の心理的な障壁を取り除くのに大きく貢献する。また、相互訪問の際には、滞在の 2 日目ともなると、大学院生同士での会話も活発化し、異文化コミュニケーションの観点でも貴重な経験であった。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本研究交流は一旦、2023 年度をもって終了するものの、強誘電性 HfO_2 薄膜の研究分野に新たな友人たちができたことから、今後は人的な繋がりに基づいて、日本国内や海外での国際会議で対面する際に交流を継続することができる。上海交通大学のメンバーが日本国内での会議に参加の際に東京に立ち寄ったり、東大のメンバーが中国での会議に参加の際に上海へ立ち寄り、これまでのようなミニワークショップのような研究交流の機会を作り、継続的に情報交換を行うことを約束している。

また、2023 年 11 月に上海交通大学を訪問した際には、共同研究先のグループのメンバーだけでなく、上海交通大学の同分野の研究者や、浙江大学、青島大学、中国科学技術院の研究者も招待したミニワークショップを開催しており、研究交流のネットワークが中国国内に広がり始めた。今後、東大メンバーが中国を訪問の際には、こうしたネットワークを広げながら交流を継続していきたいと考えている。

(7)その他(上記(2)〜(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例: 大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

○ Tianning Cui (上海交通大学), IWDTF2021 Young Award, “Independent Effect of Dopant, Oxygen Vacancy and Surface Energy on Crystal Phase of HfO_2 Thin Films towards a General Parameter to Engineer the Ferroelectricity”, 2021 年 11 月, オンライン

○ 女屋崇 (東京大学), IWDTF2023 Young Award, “Origin of Fatigue Properties Induced by Oxygen Vacancies Originating from Ferroelectric- $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2/\text{TiN}$ Interface Reaction During Field Cycling”, 2023 年

10 月, 金沢市