

## 二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月1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]

国立研究開発法人産業技術総合研究所・デバイス  
技術研究部門

[職・氏名]

主任研究員・齊藤 雄太

[課題番号]

JPJSBP 120204815

1. 事業名 相手国: ロシア (振興会対応機関: RFBR) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 次世代デバイスに向けた二次元カルコゲナイドアモルファスの結晶化機構の解明

(英文) Understanding the crystallization of two-dimensional chalcogenides from three-dimensional  
amorphous phase for future functional nanoelectronic device application3. 共同研究実施期間 2020年4月1日 ~ 2022年3月31日 ( 2年0ヶ月 )

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Herzen State Pedagogical University of Russia ・ Professor ・  
Alexander V. Kolobov

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		4,631,250 円
内訳	1年度目執行経費	2,375,000 円
	2年度目執行経費	2,256,250 円
	3年度目執行経費	- 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	7名
相手国側参加者等	5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			( )

\* 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)

本研究では、二次元層状結晶構造を有するカルコゲナイド系材料のアモルファス相に注目し、その物性や結晶相との比較、結晶化メカニズムの解明などを目的とした。日本国側の産総研では薄膜の作製や構造解析、相手国側のロシア、ゲルツェン大学では誘電特性や熱物性の評価、そして協力して放射光施設による局所構造解析や第一原理計算による理論計算を行うことで目的を達成しようと試みた。残念ながら全期間(2020.4-2022.3)新型コロナウイルスの影響で相互の機関への派遣・受入は実現できなかったが、日本国側で作製した試料を相手国側に送ることで概ね実験自体は当初計画していた通りに実施できた。

### (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)

本研究交流を通じて計 7 報の国際共著論文を公表することができた。具体的には、① $\text{Cr}_2\text{Ge}_2\text{Te}_6$  アモルファス薄膜の化学結合の次元が変化する結晶化挙動の解明(Scientific Reports)、② $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  における劈開面と電子状態の関係の調査(Physica Status Solidi Rapid Research Letters)、③ $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  のアモルファス・結晶薄膜の誘電緩和現象の測定(Journal of Materials Science: Materials in Electronics)、④原子層厚さの CdTe における多形変化の計算予測(Physica Status Solidi Rapid Research Letters)、⑤ $\text{MoS}_2$  薄膜のアモルファス-結晶転移の解明(ACS Applied Nano Materials)、⑥アモルファス Se の一次元結晶化の観察(Applied Physics Letters)、⑦層状結晶化を駆使したスパッタ法による層状カルコゲナイド薄膜の大面積成膜の実現(Materials Science in Semiconductor Processing, レビュー論文)である。

ファンデルワールス力によって二次元的に層状構造を示す物質をアモルファス化(結合の三次元化)した時に、どのような局所的な結合状態を取り、物性にどのような影響を及ぼすのか、そしてそれが結晶化する際のダイナミクスについて解明した。“化学結合の次元”という新たな概念、物質・材料の考え方を提案し、様々な視点から研究を実施でき、学術的成果として多数の論文を出版できた。

### (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)

上記 7 報の論文において、①⑤⑥は共同での放射光実験と理論計算による成果であり、②④は第一原理計算主体、③は日本国側での試料作製と相手国側での物性評価によってそれぞれ実現できた。すなわち、お互いの長所を活かしながら有機的な繋がりを構築できたが故に達成できた成果である。コロナ禍でお互いの研究者の物理的な交流が制限された中で、オンライン会議等による頻繁な学術交流を通して国際共同研究を推進できた。

### (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)

本研究は材料の作製や評価に主眼を置いたものであるが、その先には次世代の電子デバイス応用を見据えており、基礎から応用まで広範なテーマで研究を進めた。現代社会が急激に便利になった背景に電子機器の

発展とそれに伴うインターネットの普及があるのは周知の事実である。一方で、これまでの開発は性能さえ上げれば良いという思想に基づくものであった。しかしながら、今世紀に入り地球温暖化に代表される環境問題が深刻さを増しており、最近では持続可能な開発目標の提案など、地球環境に配慮した人類活動が求められている。そのため、いかに低消費電力動作する電子デバイスの実現が喫緊の課題である。層状物質は 1nm(10 億分の 1m)程度の薄さで機能を発現するため、低消費電力でかつ優れた性能を示す期待の新物質である。本研究では、これまであまり着目されてこなかった層状物質のアモルファス状態にフォーカスを当てながら、社会生活の質の改善と、CO<sub>2</sub> 排出抑制を両立する次世代電子デバイスの材料技術開発を目指した。

(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)

比較的経験の浅い若手研究員やポスドク研究員にも積極的に本研究に携わってもらい、国際共同研究の一端(相手国とのオンライン会議等)を経験させることができた。特に、ポスドク研究員については、現在、第一著者論文として、国際論文誌に投稿中である。本来であれば海外の大学と一緒に連れて行き、現地の研究施設の見学やスタッフ・学生と触れ合う機会を与える予定ではあったが、制限のある中で最大限の養成を取り組んだ。

(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)

本事業によって多数の研究成果を発表できた。特筆すべきは、⑤⑥の論文に関して、今回の二国間交流(日本-ロシア)に加え、チェコの大学との三者の国際共同研究として発表したことである。チェコの研究者との連携は、本二国間交流の相手国側代表者によって紹介された経緯があり、今回の事業を通して更なる世界的な研究者ネットワークの拡充に繋がったものと考えている。現時点でもチェコの大学とは共同研究は継続しており、本研究が終了後も更に発展していくものと確信している。

(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