

二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月25日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]

東京大学・大学院工学系研究科

[職・氏名]

教授・塩見 淳一郎

[課題番号]

JPJSBP1 20194807

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) ナノインクルージョンを用いたフォノンの輸送とエネルギー変換のコヒーレント制御

(英文) Controlling coherent effects in phonon transport and energy transfer by nano-inclusions

3. 共同研究全実施期間 2019年4月1日 ~ 2022年3月31日 (3 年 0 ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

Russian Academy of Sciences・Professor・KOSEVICH Yuiry

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		3,811,670 円
内訳	1年度目執行経費	2,337,500 円
	2年度目執行経費	1,474,170 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究全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	14名
相手国側参加者等	6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	4	0	1(0)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	0	0	0(0)
4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: 本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)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

2019 年 9 月に日本側代表者と若手参加者1名がロシアを訪問し、本共同研究で見出した **Two-way Interference** メカニズムに関する詰めた議論を行った。メカニズムの解明の多くの部分は当該滞在中の膝を突き合わせた密な議論によって達成されており、直接訪問することが大いに有用であった。その後、メールで連絡を取りながら双方で作業を行った後に 2019 年 11 月末からロシア側の代表研究者が東京大学に滞在し、共同で論文執筆を行い、その直後に論文投稿に漕ぎつけた。その後、上記研究成果を基盤として他の材料・構造系に共同研究を発展させるべく、2020 年 2 月に日本側の若手参加者2名がロシアを訪問し、ロシア側研究代表者および複数の参加者と密に議論を行った。一方で、2020 年度からはコロナ禍によって、双方を訪問する形の対面の交流はできず、オンライン等で議論を継続した。

(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)

ナノインクルージョン(ナノ粒子を母材に埋め込んだ系)によるフォノンの共鳴効果がフォノン透過関数ならびに系全体の熱伝導に及ぼす影響を評価し、ナノインクルージョンの構造との相関を明らかにした。ゲルマニウム・ナノインクルージョンを含んだシリコンバルク体を対象とし、フォノン波束動力学法及び原子グリーン関数法を用いて、フォノン共鳴・干渉効果によるフォノン透過関数の減少を評価した。また、複数のナノインクルージョンを配置した際に生じる共鳴・干渉効果に注力して解析を進めた。その結果、ナノ粒子の層が 10 を超えると、新規的なメカニズムによって特定の周波数帯域のフォノンが全く伝搬しなくなる「ストップバンド」が発生することを明らかにした。詳細なメカニズム解析によって、これはナノ粒子を通過するフォノンとナノ粒子の間の空間を通過する 2 つのフォノンが干渉する「**Two-way Interference**」によってもたらされることを明らかにした。これにより、フォニック結晶のようにナノ粒子を周期的に配列する必要はなく、ランダムな配置でもストップバンド効果が得られることがわかった。さらにメカニズムを突き詰めるべく、原子置換や欠陥などの原子スケールの不秩序性による干渉効果の検証や、**S-Matrix** 法の導入によるモードごとのフォノン透過関数の計算などを実施した。

(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)

相手国研究者らは簡易的なモデル系を用いて、局所的な構造によるフォノンの共鳴現象を利用して、特定の周波数のフォノン伝播を遮断できることを明らかにするなど、コヒーレントなフォノン輸送の基礎理論において秀でた知見と解析技術を有しており、研究代表者が有するフォノン波束動力学法、原子グリーン関数法、分子動力学法に基づく熱輸送のシミュレーション技術との相性がよく、それによって上記の **Two-way Interference** を現象論的に見出すことに留まらず、多角的にメカニズムを議論することができた。

(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)

放熱材料、断熱材料、熱電変換材料などの熱機能材料では熱伝導特性の制御に加えて、電気的特性、光学特性、機械特性など他の材料特性との両立も求められており、高いレベルの材料の設計や作製が要求される。廃熱利用において有効な熱電変換材料では、電気伝導率を維持または向上させつつも熱伝導率のみを低減することが望まれるが、熱伝導率と電気伝導率には一般的に正の相関性があるため、熱伝導率のみを低減させることは容易ではない。これらの要求に対して「フォノンエンジニアリング」という枠組みで、半導体や絶縁体の熱伝導を担うフォノン(格子振動の量子)の輸送を、ナノスケール構造を利用して、電気的特性と独立して制御する

研究が盛んに行われており、本研究の成果はどの制御性のさらなる向上に役立つことが期待される。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

相手側研究者の卓越した基礎理論に若手研究者が密な議論を通じて触れられたことは、非常に大きなインパクトがあったと考える。特に相手側研究者はフォノン輸送について独自の見方をいろいろと持っており、若手研究者が自身の研究を見直してより深化させる良い機会となった。また、双方のグループの若手研究者が直接交流できたこと効果も大きい。これらを通じて、国際的な経験値や知識を向上させることができた。

(6)将来発展可能性(本研究交流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)

学術的な観点から考えると、本研究によって価値のある基礎的な原理が見出されたことを受けて、それをより工学的に発展させる研究を継続したい。

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

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞、産業財産権の出願・取得など

特になし。