

研究領域事後評価

さきがけ

「熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御」

研究総括

花村 克悟

東京工業大学 教授

2023年1月26日



科学技術振興機構

目次

1. 研究領域の概要
2. 研究総括のねらい
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域の運営
6. 研究成果
7. 総合所見

1. 研究領域の概要(戦略目標)

- 戦略目標名：
ナノスケール熱動態の理解と制御技術による革新的材料・デバイス技術の開発
- 達成目標：
 - ① ナノスケールでの熱動態の基礎的理解と熱制御基盤技術の構築
 - ② 熱輸送に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用に向けた革新的材料の創製
 - ③ 熱輸送に関する課題の解決や熱エネルギーの有効活用を実現する新規デバイスの開発

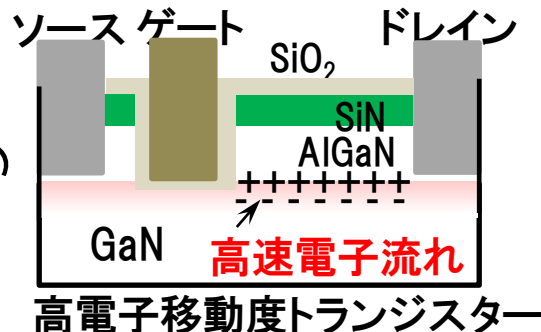
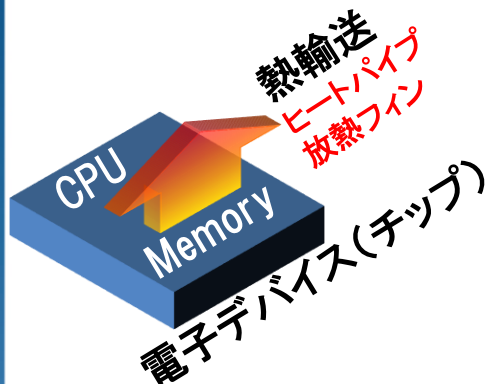


研究領域：熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御

1. 研究領域の概要(課題と解決)

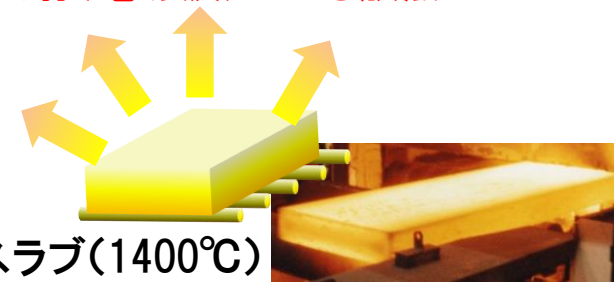
【課題】

- ★ 電子デバイスの発熱密度上昇 ⇒ チップ壁面からの熱輸送が追い付かない。
- ★ 未利用のまま排出されている膨大な熱エネルギー
⇒ 電気など有効エネルギーへの変換効率が低い。



出典:
https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/05/72_05pdf/a05.pdfを元に作成

ふく射(電磁波)による放熱



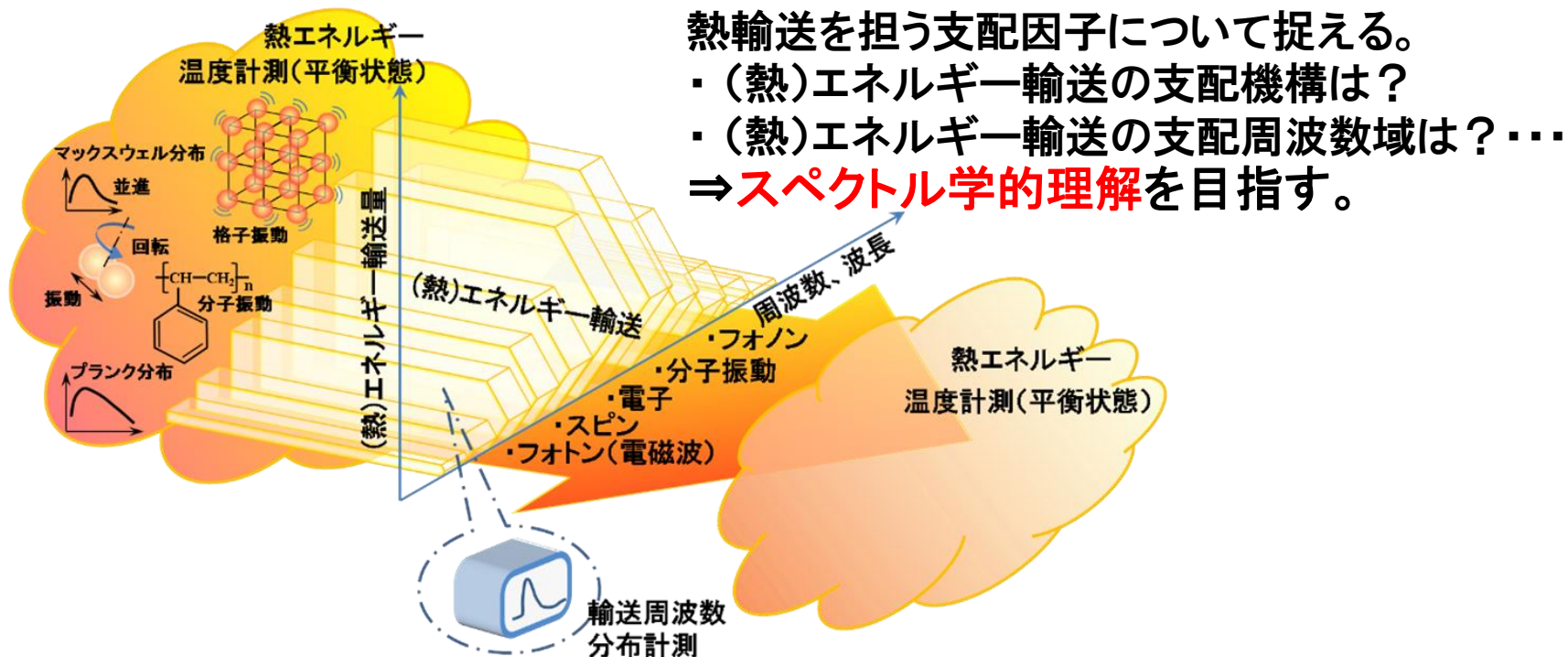
出典:<http://inductojapan.com/wp-content/uploads/sites/29/2015/01/InductothermSlabHeat05.jpg>

【課題解決】

熱の輸送機構について、

- ・ 支配的な機構(例えば、フォノン、分子振動、光子(電磁波)、スピンなど)を把握し、
- ・ それらをスペクトル学的(波長や周波数あるいは温度域ごとに成分を分解)に捉え、
- ・ いずれの成分が熱エネルギーを輸送する支配因子か、を明確にし、
本質的、かつスペクトル学的に理解することが必要となる。
- ・ その支配成分をオン・オフ、指向性付与、エネルギー変換などにより、
機能的な制御を行い、熱輸送の能動的な扱いを可能とすることが必要となる。

2. 研究総括のねらい(スペクトル学的理解)



将来の持続可能社会および高度情報化社会・産業に革新をもたらす
デバイスや**新材料**の実現に資するため、

- ① 熱輸送の指向性制御やスイッチングとそれを可能にする原理解明、
- ② 熱輸送のスペクトル学的理解を支援する計算手法あるいはそのスペクトル計測などの基盤技術の創出を目指す。

2. 研究総括のねらい(成果に向けて)

- 個人研究者による**新たな概念・発想・手法**を用いて、熱輸送の本質的な理解に迫る、画期的な研究を実施することを目指す。
- 機械系、物理系、材料系に加え、化学系、生物系、情報系、数理系など、**幅広い専門分野**の研究を推進。
- **異なる分野の科学的知識を融合**した総合的な取り組み、挑戦的・独創的な研究を奨励。

3. 研究課題の選考(募集・選考の方針)

- 機械系、物理系、材料系に加え、化学系、生物系、情報系、数理系など、**幅広い専門分野からの参画に期待。**
- 周波数や波長ごとの特徴的な(熱)エネルギーを理解・制御するための**基盤研究に関する提案を幅広く募集。**
- 人材育成の観点も重視するため、
「将来的にどのような熱科学・熱輸送研究を発展させたいか」
を確認。

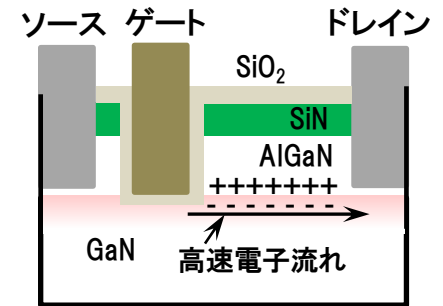
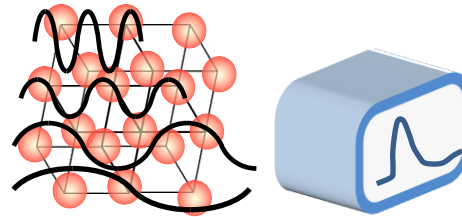
3. 研究課題の選考(対象となる研究)

- ナノ(マイクロ)レベルの研究を重視。
分野によっては、**実在系**にスケールアップしたときにナノレベルで確認したメカニズムが有効となる系を念頭に置いたテーマに期待。
- 実在系で支配的となり得る、**界面での熱輸送現象**も重視。
- 多様な熱輸送機構の相互作用による研究など、熱輸送の本質から派生した**新たなサイエンスへ発展**する研究も対象とする。
- 領域趣旨に合致する研究であれば、これまでに推進されてきたテーマも対象とする。

3. 研究課題の選考(対象となる研究例)

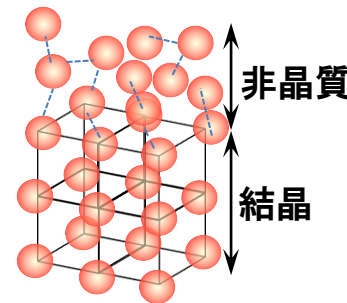
○対象となる研究例

- 計測(スペクトル分布)
- 熱輸送の指向性制御、オン・オフスイッチング
- エネルギー変換(フォノンor光子起電力発電)
- 高分子内の熱輸送制御
- 生体・細胞の冷凍における熱輸送

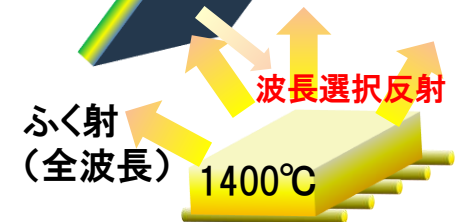


高電子移動度トランジスタ
出典:
https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/05/72_05pdf/a05.pdfを元に作成

- 熱発生そのものの抑制
- 熱発生点の局所冷却



低バンドギャップ
光起電力電池



3. 研究課題の選考(採択結果)

年 度	応募件数	書類選考 採択件数	面接選考 採択件数	採択率 (%)
2017	76	24	8	10.5
2018	81	22	9	11.1
2019	59	21	9	15.3
合 計	216	67	26	12.0

重複応募を除いた正味応募者数170名
実質採択率15.3%

3. 研究課題の選考(1期生)

所属:採択時

研究者名(敬称略)	所属	研究課題名
井藤 彰	九州大学 大学院工学研究院	ナノ・ヒーティングによる生体組織凍結保存技術の創出
岡島 元	青山学院大学 理工学部	ラマン温度イメージングによる分子選択的な熱分析
小川 直毅	理化学研究所 創発物性科学研究センター	イメージング分光による非相反量子輸送物質の開拓
澤田 敏樹	東京工業大学 物質理工学院	生体高分子の階層的な集合化を利用したナノスケール熱動態の理解と機能制御
志賀 拓磨	東京大学 大学院工学系研究科	フォノンの粒子性・波動性を利用したスペクトル・エンジニアリング
田口 良広	慶應義塾大学 理工学部	近接場光を用いたフォノン熱輸送過程の可視化
南谷 英美	東京大学 大学院工学系研究科	層状物質における電子フォノン相互作用の波数・エネルギー分解第一原理解析
矢吹 智英	九州工業大学 大学院工学研究院	沸騰熱伝達特性スペクトルの計測・制御による新熱デバイス創出

コロナ延長:3名(水色)
女性:1名(赤色)

3. 研究課題の選考(2期生)

所属:採択時

研究者名(敬称略)	所属	研究課題名
岡部 弘基	東京大学 大学院薬学系研究科	生細胞内熱計測による温度シグナリング機構の解明
岡本 範彦	東北大学 金属材料研究所	電気化学的インターカレーション反応を利用した熱スイッチングデバイスの創出
金子 哲	東京工業大学 理学院	分子素子実現に向けた単分子温度計測
吉川 純	物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点	ナノスケール・フォノン輸送の電子顕微分光
鈴木 健仁	東京農工大学 工学研究院	極限屈折率材料の深化と熱放射アクティブ制御デバイスの開拓
高橋 英幸	神戸大学 分子フォトサイエンス研究センター	高周波電子スピン共鳴によるマグノン熱伝導の制御
寺門 信明	東北大学 大学院工学研究科	スピン熱伝導を利用した熱伝導可変材料の創出
原田 俊太	名古屋大学 未来材料・システム研究所	自然超格子フォノンニック結晶による室温熱輸送制御
村上 陽一	東京工業大学 工学院	共有結合性有機骨格の熱的モード究明と熱応用開拓

3. 研究課題の選考(3期生)

所属:採択時

研究者名(敬称略)	所属	研究課題名
Anufriev Roman	東京大学 生産技術研究所	Ray-Phononics for Advanced Heat Flux Management (レイフォニクスによる高度な熱流マネジメント)
石井 智	物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点	光と構造制御による温調機能の開拓
岡田 健司	大阪府立大学 大学院工学研究科	結晶性ナノ多孔質材料を用いた熱輸送の理解と能動的制御
梶原 優介	東京大学 生産技術研究所	熱励起エバネッセント波を介したナノスケール熱分光法の開拓
柏木 誠	青山学院大学 理工学部	非秩序系構造材料の非平衡結晶構造制御による新規熱輸送制御技術の確立
櫻井 篤	新潟大学 工学部	遠方場Super Planckian熱ふく射輸送の可能性
Sang Liwen	物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス 研究拠点	分極場工学による界面フォノン輸送の最適化
藤原 邦夫	大阪大学 大学院工学研究科	単原子スケール非平衡熱輸送場の分子動力学解析
堀家 匠平	産業総合研究所 ナノ材料研究部門	クーロン効果潜熱輸送による放熱型熱電発電素子

外国籍:2名(水色、赤色)
女性:1名(赤色)

3. 研究課題の選考(ポートフォリオ:1期生)

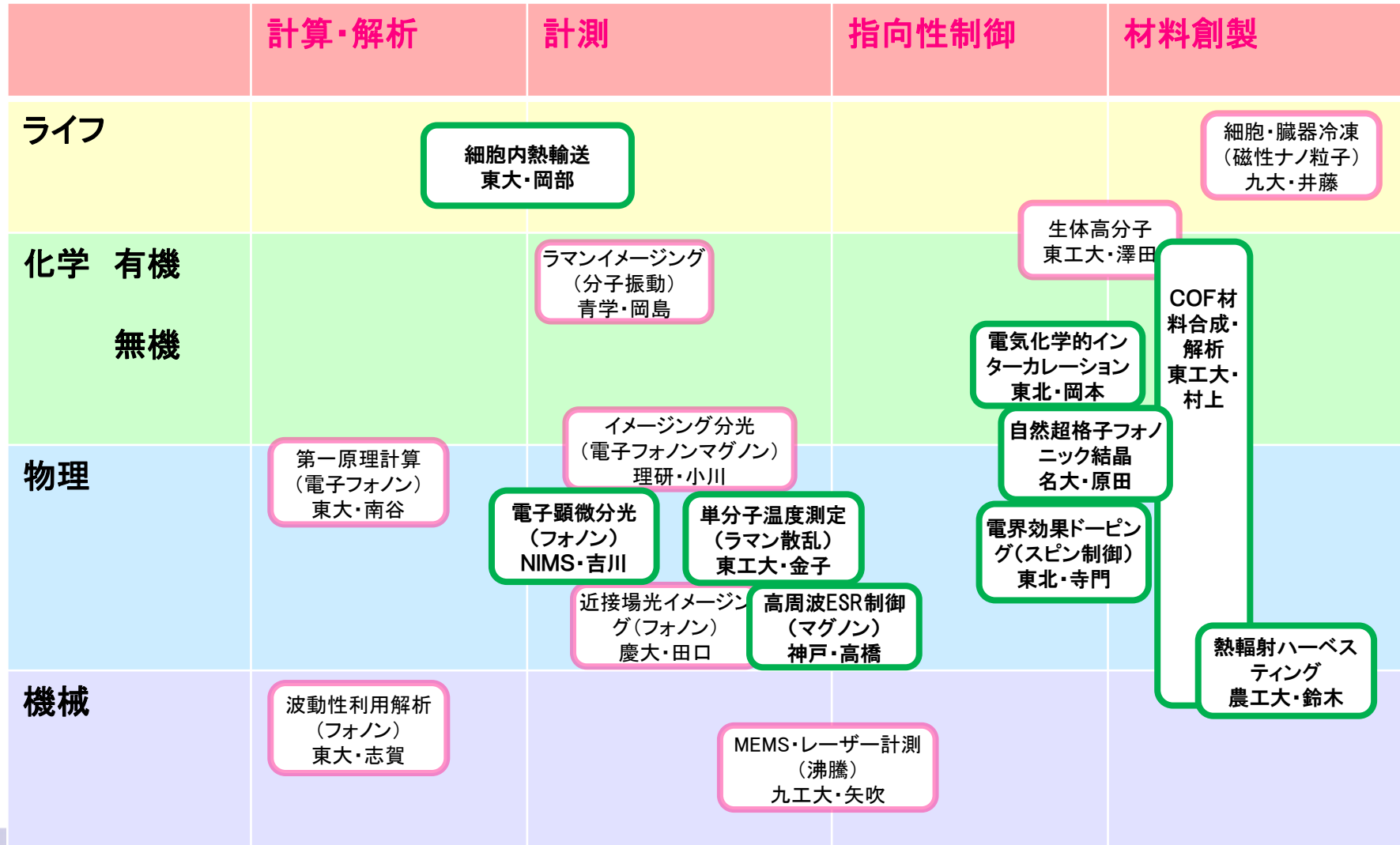


	計算・解析	計測	指向性制御	材料創製
ライフ				細胞・臓器冷凍 (磁性ナノ粒子) 九大・井藤
化学 有機		ラマンイメージング(分子振動) 青学・岡島		生体高分子 東工大・澤田
無機				
物理	第一原理計算 (電子フォノン) 東大・南谷	イメージング分光 (電子フォノンマグノン) 理研・小川		
		近接場光イメージング(フォノン) 慶大・田口		
機械	波動性利用解析 (フォノン) 東大・志賀		MEMS・レーザー計測 (沸騰) 九工大・矢吹	

3. 研究課題の選考(ポートフォリオ:1, 2期生)

 2017採択
 2018採択

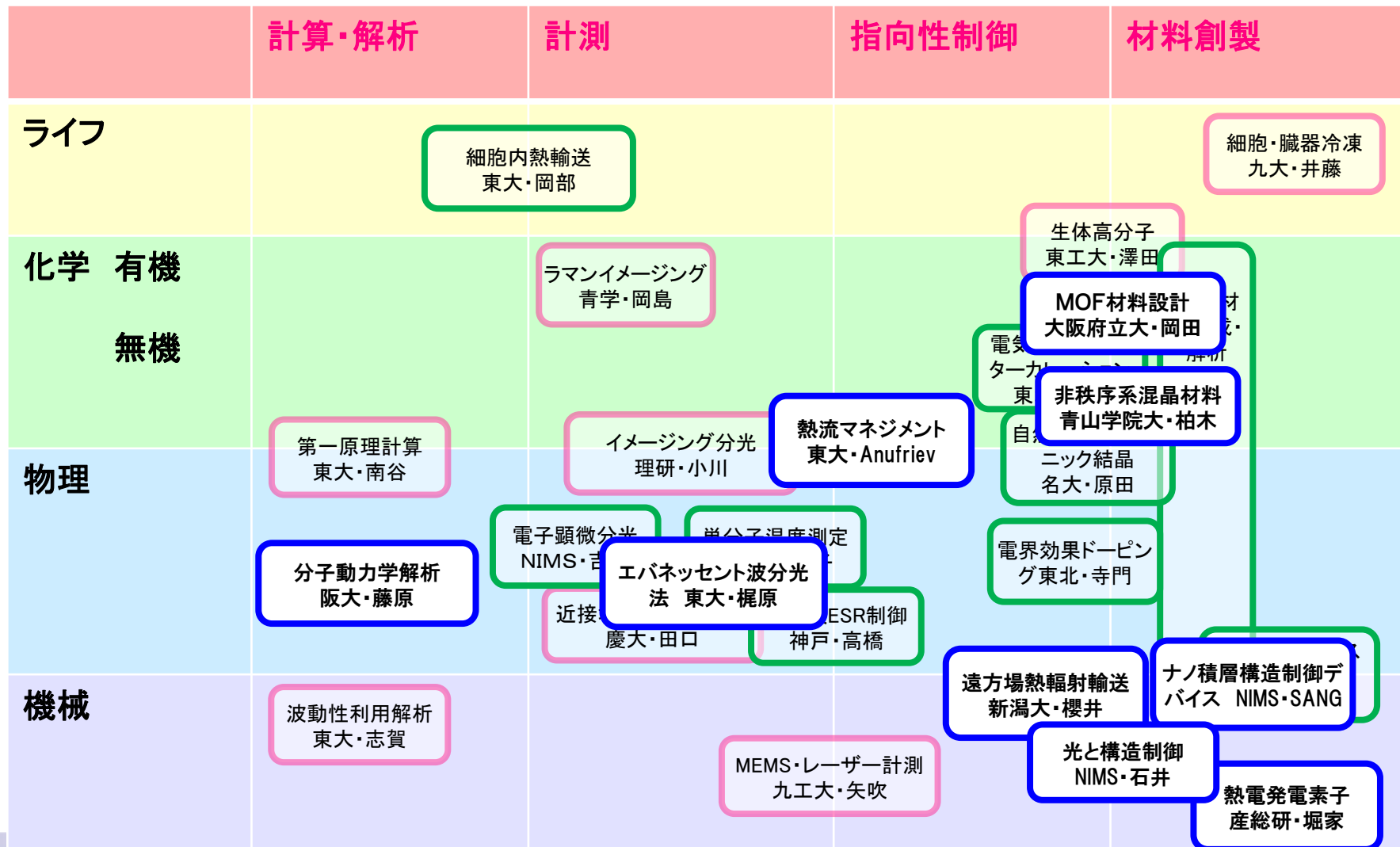
←
→
←
→



3. 研究課題の選考(ポートフォリオ:1~3期生)

 2017採択
 2018採択
 2019採択

←
→
原理説明
技術開発



4. 領域アドバイザー

氏名(敬称略)	所属			専門分野
栗野 祐二	慶應義塾大学	理工学部	特任教授	電子工学、計算科学 (マイクロ・ナノデバイス、ナノ材料、シミュレーション)
大野 恵美	株式会社IHI	資源・エネルギー・環境事業領域 カーボンソリューションSBU	副SBU長	熱工学(燃焼・火力発電 バイオマス)
木崎 幹士	トヨタ自動車株式会社	トヨタZEVファクトリーFC製品開発部	チーフプロフェッショナル ルエンジニア	熱工学(エンジン、燃料電池)
小池 洋二	東北大学		名誉教授	物性物理(室温超伝導体、磁性)
中村 真一郎	DENSO International America Inc.	Silicon Valley Innovation Center	Senior Vice President	フォノンエンジニアリング(熱電材料、 熱システム)
藤田 博之	東京都市大学	総合研究所	特任教授	計測(MEMS、TEM)
船津 高志	東京大学	大学院薬学系研究科	教授	生物物理学、分析化学
宗像 鉄雄	産業技術総合研究所	福島再生可能エネルギー研究所	所長	熱工学、エネルギー・環境工学(熱 流体シミュレーション)
森 孝雄	物質・材料研究機構	国際ナノアーキテクトニクス研究拠点	グループリーダー	材料科学(固体物性、熱電材料)
森川 淳子	東京工業大学	物質理工学院	教授	熱物性計測(高分子、MI2I)
萬 伸一	理化学研究所	量子コンピューター研究センター	副センター長	デバイス

アドバイザー(青:企業関係者; 赤:女性研究者) 大学:5名、研究所:3名、民間:3名(所属:2022年12月現在)

5. 研究領域の運営(方針)

- 分野の垣根を越えた科学的知識の連携・融合を奨励、将来的に熱科学に関する研究を牽引する研究者ネットワーク育成を目指し、人材育成の観点も重要視する。
Ex) サイトビジット etc.
- CREST 研究領域「ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出」をはじめとし、領域内外の研究者との連携の場も活用し、本さきがけ研究が、研究者自身の今後の研究を飛躍させる上で重要なステップとなることを期待
Ex) CREST熱制御領域との合同領域会議
領域内の定例研究会(最大の特徴)
(約2ヶ月毎に4～5名ずつ：各持ち時間50分)
- 研究の社会的な背景を理解し、産業界との連携を支えられる人材育成を目指す。知財権取得に関する検討は積極的に行う。
Ex) 技術見学会 etc.

5. 研究領域の運営(領域会議・サイトビジット)

領域会議(2回/年) (CRESTと連携、資料は日・英併記)

6月:3日間にわたり全員が発表し質疑(発表+質疑で25分/人)

12月:全員の発表に加え**技術見学会を実施**(2020年より課題事後評価会も実施)

年度	見学先
2018	北海道 日本製鋼所・室蘭製作所
2019	青森県 六ヶ所原燃PRセンター
2020	宮城県 JAXA 角田宇宙センター(Web見学)
2021	コロナ禍のため見学会中止
2022	広島県 (株)三和ドック

サイトビジット・個人面談

研究者の個人的な相談に対するフォローアップも実施

個人面談(壁に直面した研究者への指導、助言)

5. 研究領域の運営(定例研究会)

定例研究会

(1~2ヶ月毎、4~5名発表/回、発表+質疑で50分、ADを含め全員参加)

現在までの研究状況、研究の計画、研究を進めるにあたっての懸念事項など発表

→ADを含めた研究者間での議論、助言等の活発化→ネットワーク形成や

個人面談の必要性確認

研究会後はブレイクアウトルームで意見交換会(任意)で親睦を深める

総括・ADのコメントを発表研究者へフィードバック

→ADの質問事項への研究者の回答もADへ再度連絡し議論を活発化

本研究領域の最大の特徴
5年間で25回開催

5. 研究領域の運営(定例研究会リスト)

・開催リスト

2017 年度	領域会議	2017/11/1
	CREST・さきがけ相界面領域会議	2017/12/8
2018 年度	第 1 回定例研究会	2018/4/16
	CREST 合同領域会議	2018/6/21-22
	第 2 回定例研究会	2018/9/3
	領域会議(室蘭)	2018/10/17-18
	第 3 回定例研究会	2019/1/21
2019 年度	第 4 回定例研究会	2019/4/25
	CREST 合同領域会議	2019/5/16-18
	第 5 回定例研究会	2019/6/14
	第 6 回定例研究会	2019/7/22
	第 7 回定例研究会	2019/9/2
	領域会議(八戸)	2019/10/23-25
	第 8 回定例研究会	2019/12/9
	第 9 回定例研究会	2020/1/14
	第 10 回定例研究会	2020/2/13
	第 11 回定例研究会(中止)	2020/3/9

2020 年度	第 12 回定例研究会(中止)	2020/4/20
	CREST 合同領域会議(中止)	2020/5/18-20
	第 11 回定例研究会	2020/7/7
	第 12 回定例研究会	2020/8/21
	第 13 回定例研究会	2020/10/5
	領域会議・課題事後評価会	2020/12/6-8
	第 14 回定例研究会	2021/1/14
	第 15 回定例研究会	2021/2/15
2021 年度	第 16 回定例研究会	2021/3/4
	第 17 回定例研究会	2021/5/17
	領域会議	2021/6/16-17
	第 18 回定例研究会	2021/8/20
	第 19 回定例研究会	2021/11/1
	領域会議・課題事後評価会	2021/12/7-9
	第 20 回定例研究会	2022/1/13
2022 年度	第 21 回定例研究会	2022/3/11
	第 22 回定例研究会	2022/4/22
	領域会議	2022/6/9-10
	第 23 回定例研究会	2022/8/2
	領域会議・課題事後評価会(尾道)	2022/11/7-8
	第 24 回定例研究会	2023/1/12
	第 25 回定例研究会(成果発表会)	2023/3/6-7

5. 研究領域の運営(各種活動)

・SciFos活動 (実社会へ研究課題の可能性探索)

2018年度:岡島研究者、田口研究者

2019年度:吉川研究者、寺門研究者

・国際強化支援

2018年度:国際ワークショップでのセッション開催(岡島、田口研究者)

2021年度:MIT長期赴任(藤原研究者)

・スタートアップ支援

2019年度:南谷研究者、井藤研究者(昇進による)

2021年度:堀家研究者(昇進異動による)

6. 研究成果(論文・発表・特許)

	論文			特許			口頭発表		
	合計	国内	国際	合計	国内	国際	合計	国内	国際
2017年度採択課題	51	2	49	2	2	0	142 (56)	99 (29)	43 (27)
2018年度採択課題	44	2	42	5	3	2	121 (37)	94 (27)	27 (10)
2019年度採択課題	94	3	91	3	3	0	130 (32)	81 (16)	49 (16)
合計	189	7	182	10	8	2	393 (122)	274 (69)	119 (53)

(招待講演数は括弧で口頭発表数の内数として記載)

・国際論文:182件

・口頭発表:393件 (内:招待講演 122件)

・特許申請:10件

6. 研究成果(プレスリリース)

・プレスリリース、新聞発表:36件以上

・JSTとの共同発表:8件 (以下の通り)

リリース名	著者	発表日
ウイルスでできた熱伝導フィルムを開発	澤田 敏樹	2018年4月3日
超高屈折率・無反射な新材料のレンズで電磁波を操る	鈴木 健仁	2020年7月14日
熱伝導を電気で制御する新手法を開発	寺門 信明	2020年9月2日
窒化ガリウムでMEMS振動子を開発	Sang Liwen	2020年12月14日
プリンターで創る高屈折率・無反射なスーパー材料	鈴木 健仁	2021年4月30日
原子スケールの熱流構造を可視化する解析技術を開発	藤原 邦夫	2022年3月25日
アモルファス構造のトポロジーから熱伝導率を予測する技術を開発	南谷 英美	2022年6月23日
スピン熱伝導物質のナノシート化に成功	寺門 信明	2022年10月13日

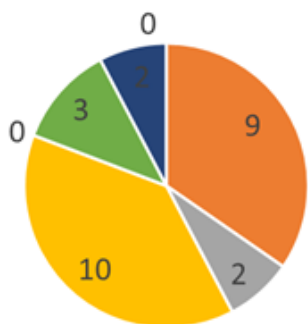
6. 研究成果(受賞)

賞の名称	授与者名	受賞者名(受賞年)
若手科学者賞	文部科学大臣	南谷英美(2019) 志賀拓磨、澤田敏樹、石井智(2021) Sang Liwen(2022)
第18回船井学術賞	船井情報科学振興財団	鈴木健仁(2019)
第19回船井研究奨励賞	船井情報科学振興財団	藤原邦夫(2020)
第6回末松安晴賞	電子情報通信学会	鈴木健仁(2020)
第1回日本表面真空学会若手女性研究者優秀賞	日本表面真空学会	南谷英美(2020)
第二回日本物理学会米沢富美子記念賞	日本物理学会	南谷英美(2020)
The Young Scientist Award	The International Symposium on Compound Semiconductors	志賀拓磨(2022)

(主な受賞のみ)

6. 研究成果(人材:ほぼ半数の12名が昇進)

役職(採択時)



役職(現在)



- 教授
- 准教授
- 講師
- 助教
- 主幹研究員/チームリーダー
- 主任研究員/ユニットリーダー
- 研究員/その他

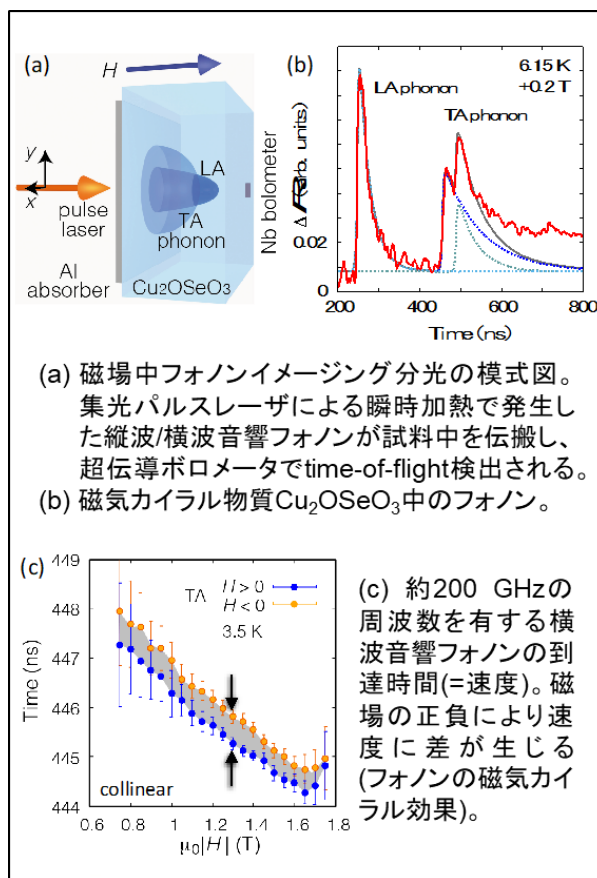
氏名	採択時	現在
井藤 彰	九州大学 大学院工学研究院 准教授	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
岡島 元	青山学院大学 理工学部 助教	中央大学 理工学部 准教授
小川 直毅	理化学研究所 創発物性科学研究センター ユニットリーダー (有期雇用)	理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー (無期雇用)
澤田 敏樹	東京工業大学 物質理工学院 助教	東京工業大学 物質理工学院 准教授
志賀 拓磨	東京大学 大学院工学系研究科 助教	産業技術総合研究所 物質計測標準研究部門 材料構造・物性研究グループ 主任研究員
田口 良広	慶應義塾大学 理工学部 准教授	慶應義塾大学 理工学部 教授
南谷 英美	東京大学 大学院工学系研究科 講師	大阪大学 産業技術研究所 産業科学ナノテクノロジーセンター 教授
原田 俊太	名古屋大学 未来材料・システム研究所 講師	名古屋大学 未来材料・システム研究所 准教授
村上 陽一	東京工業大学 工学院 准教授	東京工業大学 科学技術創成研究院 教授
Anufriev Roman	東京大学 生産技術研究所 特任助教	東京大学 生産技術研究所 特任准教授
石井 智	物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点 主任研究員	物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点 主幹研究員
堀家 匠平	産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 研究員	神戸大学 大学院工学研究科 応用化学専攻 助教

採択時
准教授:9名
現在
教授:4名
准教授:10名
(26名の半数以上が准教授以上に昇進)

6. 研究成果(基礎的理解、計測)

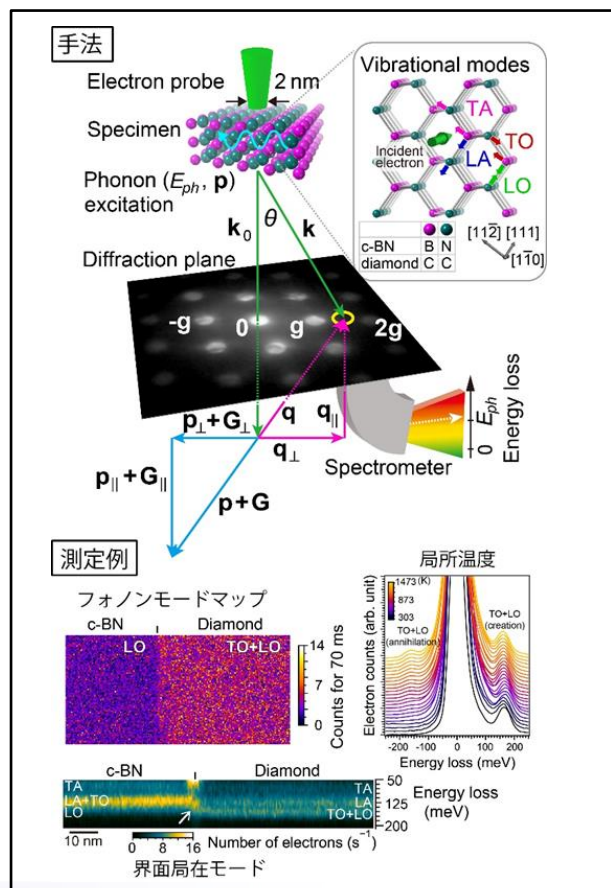
・小川直毅 (理研:創発物性科学研究センター)

非相反結晶物質内部の縦波/横波音響フォノン伝搬の分離および磁場によるフォノン速度制御を達成 (→基礎的理解および計測)



・吉川純 (NIMS:先端材料解析研究拠点)

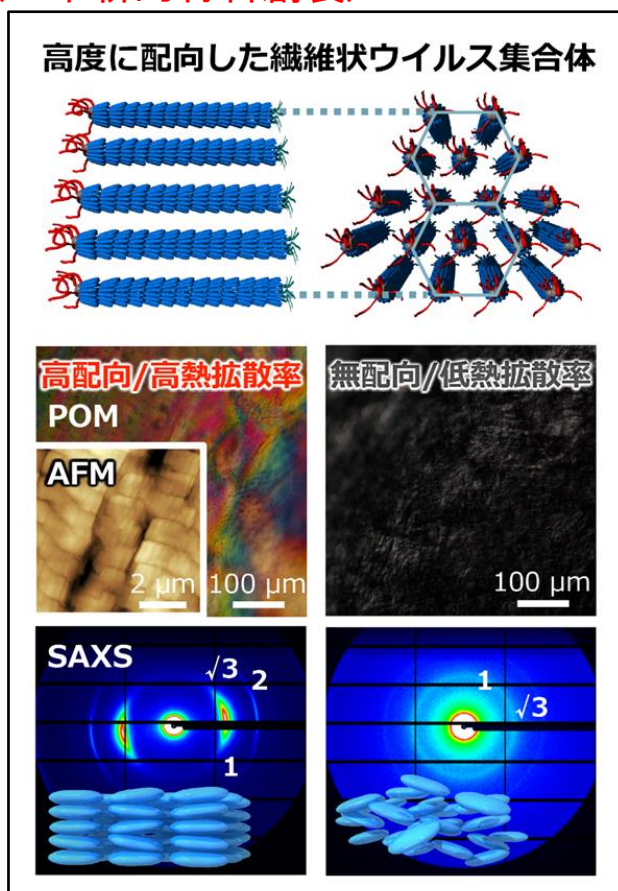
空間分解能1~2nmで界面局在振動モードの検出および局所温度計測手法を確率 (→基礎的理解に向けた計測手法)



6. 研究成果(材料創製)

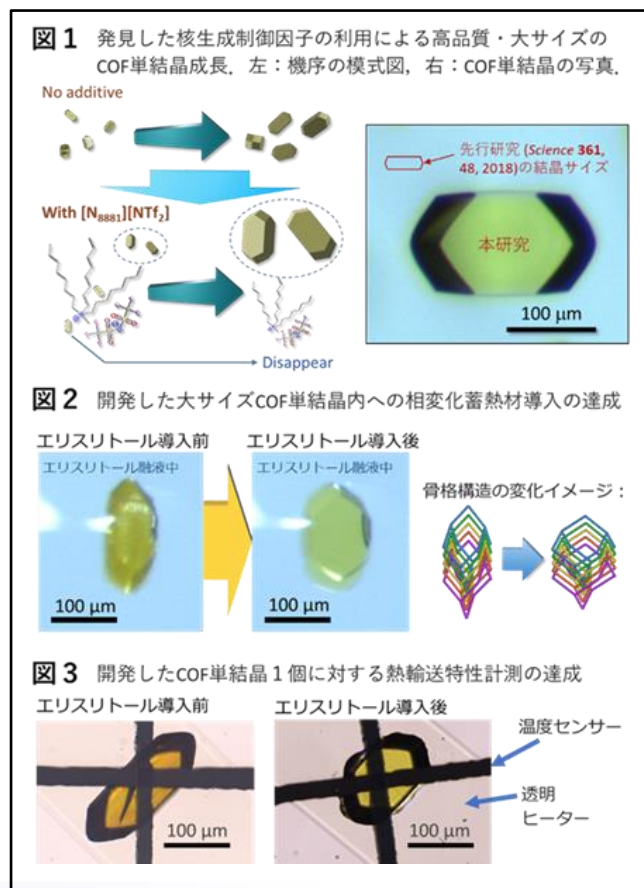
・澤田敏樹 (東工大:物質理工学院)

繊維状ウイルスの遺伝子改変および機械学習を駆使し電気絶縁性高熱伝導性材料を創出 (→革新的材料創製)



・村上陽一 (東工大:科学技術創成研究院)

共有結合性有機骨格(COF)の熱物性値の測定および蓄熱や湿度調整に適する複合材料や新種のCOFを創出 (→革新的材料創製、計測)



6. 研究成果(新規デバイス)

▪ Sang Liwen (NIMS:国際ナノアーキテクトニクス研究拠点)

半導体積層超格子構造の自発的分極により生ずるコヒーレントフォノンを用いた界面抵抗低減手法を創出 (→新規デバイスへの展開)

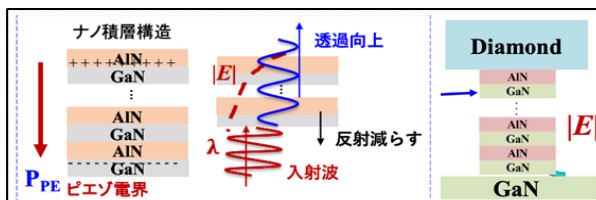


図1 ピエゾ分極電界によるフォノン熱輸送の向上

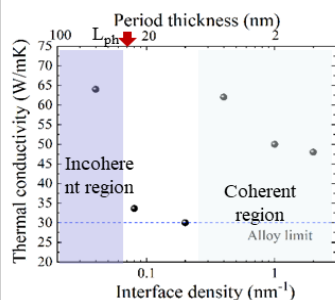


図2 ピエゾ分極を持つ AlN/GaN 超格子の周期厚さが小さくなることでフォノンのコヒーレント輸送が観察された

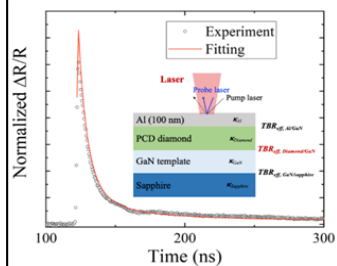
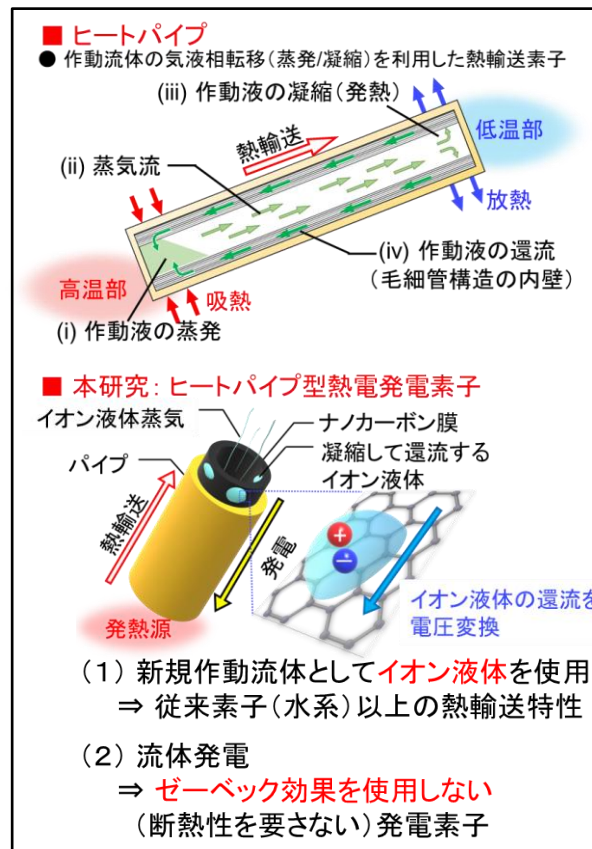


図3 AlN/GaN超格子中間層を有するGaNとダイヤモンド膜間のTBRを時間領域サーモフレクタンス法で測定。TBRは従来の中間層SiN_xより1桁に低減した

▪ 堀家研究者 (神戸大学:大学院工学研究科)

イオン液体の蒸発係数の測定およびその高い潜熱量を利用したヒートパイプの開発 (→新規デバイスの開発)



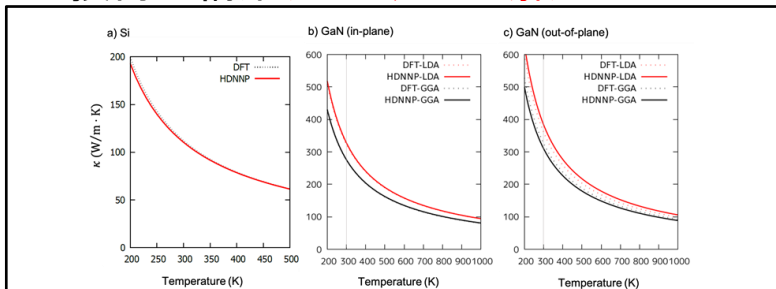
6. 研究成果(数値計算)

・南谷英美 (大阪大学:産業技術研究所)

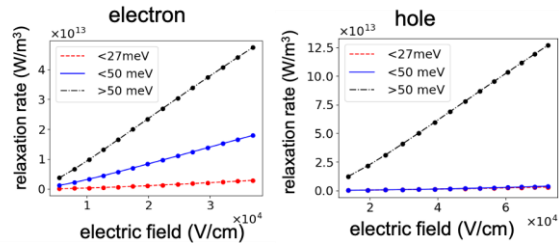
半導体における電子系からフォノン系へのエネルギー授受を第一原理計算で求める基盤技術の構築(→基礎的理解)

・藤原邦夫 (大阪大学:大学院工学研究科)

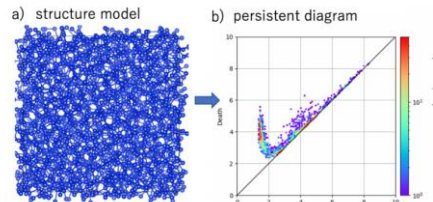
固液界面熱流束を原子サイズの空間分解能により表現する解析手法を構築 (→数値計算による基礎的な理解)



ニューラルネットワークポテンシャルとDFT計算による熱伝導率計算比較



エネルギー緩和レートにおけるフォノンエネルギー区分別の寄与(300K)



アモルファスSiの構造モデルa)と得られたパーシステントダイアグラムb)

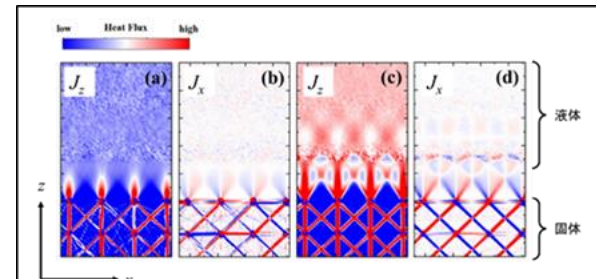


図1 固体-液体界面における2次元熱流構造。(a, b) 濡れ性が悪い場合。(c, d) 濡れ性が良い場合。

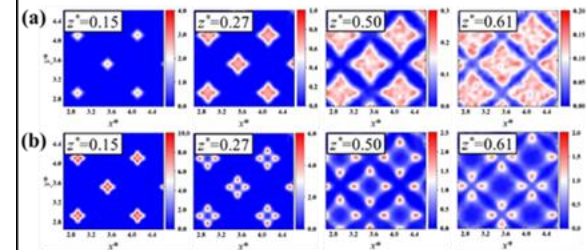


図2 固液界面内における3次元熱流構造 (各z方向高さにおける断面で表示)。(a) 濡れ性が悪い場合。(b) 濡れ性が良い場合。

※プレスリリース、2022
「原子スケールの熱流構造を可視化する解析技術を開発 ～熱輸送メカニズムのさらなる解明に期待～」
<https://www.jst.go.jp/pr/announces/20220325-4/index.html>

6. 研究成果(研究者間の連携)

・村上研究者(2期生)と森川AD

村上研究者が作成したCOFを森川ADが測定・計測しフィードバック

・石井研究者(3期生)と森AD

共同研究:透明熱電材料の評価(ゼーベック係数と低効率)の測定

・南谷研究者、志賀研究者(1期生)と柏木研究者(3期生)

共同研究により論文発表(JSTとの共同発表):

「アモルファス構造のトポロジから熱伝導率を予測する技術を開発」2022年6月

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20220623/pdf/20220623.pdf>

・矢吹研究者(1期生)と藤原研究者(3期生)

共同研究:沸騰メカニズムの理論計算・解析

・Anufriev研究者と梶原研究者(3期生同士)

共同研究:フォノンニック結晶

7. 総合所見(マネジメント)

・採択

機械、物理、化学、生命科学など様々な分野からの応募があり、研究対象も多岐にわたるメンバーを採択できた。

・運営

相補的な意見交換や情報交換を頻繁に行うことが是非とも必要と考え、年2回の領域会議に加えて1～2か月に1回の頻度で定例研究会を開催してきた。(計25回)その結果、まったく異なる分野のメンバーからの指摘が大きな成果に繋がっている例も少なくない。

Team熱制御

7. 総合所見(達成状況、意義・妥当性)

ナノスケールにおける熱動態の理解として、フォノンやフォトンの周波数スペクトルごとの輸送機構やその制御、また半導体内部の電子からフォノン(熱運動)への変換機構、半導体界面におけるフォノン輸送計測など一定の成果が得られている。

革新的材料の創製については、共有結合有機骨格(COF)や金属有機骨格(MOF)さらに繊維状ウイルスなどの利用が本研究領域において産声を挙げたと言え、今後の展開が期待できる。

さきがけの予算と期間の制約のため、いくつかの研究テーマについてデバイスへの一歩手前ではあるもの、各要素に分離しそれらの基礎データを取得することに留めるように指示した。

従来から熱輸送に関わってきたメンバー(主に機械系)は異分野における熱輸送といった新たな課題を見出し、関わっていなかったメンバーは熱輸送に関わる本質的な考え方やアプローチを身に着けることができた。

本研究領域で得た様々な研究成果を各々の分野の中で広め、学会・協会における相互乗入れが始まろうとしており、異分野に跨る新たな学理を創出することに繋がり、少し長い目で見た時には新たなイノベーションにつながるものと考えている

7. 総合所見(所感)

熱マネジメントは、一長一短で片づけることができない永年の課題である。必ずしも思い通りに制御できない、あるいは有効利用できないものの、ほぼ全ての機器において、特に小型・高出力化に伴い、ますます厄介な課題となっている。

本研究領域については、熱に関する総花的な研究課題ではなく、研究者独自のスペクトルに分解しながら考えられるものとして取り上げてきた。

しかしながら、熱制御の立場から将来のカーボンニュートラルに向けた戦略としては、本研究領域とは対極にあるアプローチにも光を当てた取組みが必要に思われる。

ご静聴ありがとうございました。