

伝熱シンポジウム特別セッション@福岡
2015年6月3日

日本伝熱学会特定推進研究 「ナノスケール伝熱機能発現とその応用への展望」

1

メンバー

塩見淳一郎(主査)	東京大学・機械工学専攻
田口良広(幹事)	慶応大学・システムデザイン工学科
大宮司啓文	東京大学・機械工学専攻
野崎智洋	東京工業大学・機械物理学専攻
宮崎康次	九州工業大学・機械知能工学研究系
山口康隆	大阪大学・機械工学専攻
河野正道	九州大学・機械工学部門
井上修平	広島大学・機械システム工学専攻
徳増 崇	東北大学・流体科学研究所
山本貴博	東京理科大学・電気工学専攻
野村政宏	東京大学・電子工学専攻
高山友行	富山県立大学・機械システム工学専攻
松本圭司	日本IBM・東京基礎研究所
中村肇	日本IBM・東京基礎研究所
津田伸一	九州大学・機械工学部門
菊川豪太	東北大学・流体科学研究所
杵淵郁也	東京大学・機械工学専攻
中野雄大	東京エレクトロン

2

背景と目的

応用展開、研究シーズの発信

- 伝熱工学は機械工学の核をなす分野であり、製造業を中心とした産業界と深く結びつくべき学問分野であるべき。
- ナノスケール伝熱分野では、分子シミュレーション、NEMS、熱物性測定、ナノ材料合成などの個々の要素技術は発展したが、産業界からの注目度は限定的(その可能性が産業界から見え難い)。

新規産業基盤の創成に向けて、研究者が出口を意識したストラテジーを共有し、連携を強化する。

分野の深化、活性化、若手研究者の育成

- ナノスケールにおける、液体、ソフトマター、ナノ複合材などの熱物性に適用可能な理論が体系化されていない。
- 各論的な研究が多く、若手研究者に可能性や魅力が伝わりにくい。

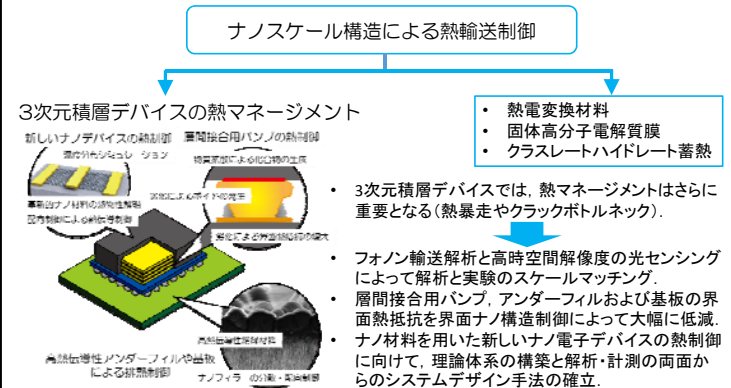
- 長期的視点に立って、既存の理論と研究群を体系的に整理し、今後の研究のロードマップを提案するとともに、将来的に「マイクロ熱工学」の教科書の出版に繋がるような学術を確立することを目指す。

研究領域の拡大、他分野との融合

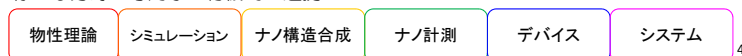
- 物性物理や材料科学の研究者との密接な交流を行う。
- 熱工学分野の研究者の固体物理学や統計力学における実力の底上げを行う。

3

研究テーマ&体制



様々な分野の専門家が有機的に連携




4

活動のアウトライン

チップからスプレッダーへの熱輸送促進

- TIM/スプレッダーおよびTIM/Chip界面の界面熱コンダクタンスの向上
- 搭載環境を考慮した高性能TIMの開発

冬の学校
(2014年12月11~13日開催)



他の共同研究

Siナノ粒子のプラズマCVD合成 + バルクナノ材料焼結 ⇒ 環境親和性熱電材料

Miura, Zhou, Nozaki, Shiomi "Crystalline-amorphous silicon nanocomposites with reduced thermal conductivity for bulk thermoelectrics", ACS Applied Materials and Interfaces (submitted)

フォノンニック構造 + フォノン輸送解析 ⇒ 新規熱伝導制御

Nomura, Kage, Nakagawa, Hori, Maire, Shiomi, Moser, Paul, "Impeded thermal transport in Si multiscale hierarchical architectures with phononic crystal nanostructures", Physical Review B (in press)

従来分子熱工学に囚われない新しい概念

- スピン, マグノン
- 量子サイズ効果, 低次元性, コヒーレンス
- 準粒子間の相関制御

関連企業を招いた研究会
(2015年3月17日開催)

企業7名と大学9名で、研究テーマをマッチングした情報交換

5

研究項目

応用展開, 研究シーズの発信

- 実装環境を踏まえたTIM材の開発
- 有機・無機ハイブリッドシート型熱電モジュールの開発
- ナノスケール熱物性計測技術の開発
- ナノ粒子を用いた蓄電技術の開発

研究領域の拡大, 他分野との融合

- ナノチューブ薄膜および原子膜材料の熱電物性
- 熱ダイオード・スイッチの可能性
- フォノンニック結晶
- 高圧ひずみ加工による熱伝導制御
- 燃料電池での熱伝導制御

研究領域の拡大, 他分野との融合


- ナノスケール熱工学のテキストに向けた学理, 項目の整理

6

実装環境を踏まえたTIM材の研究

3次元積層デバイスの熱マネージメント **チップからスプレッダーへの熱輸送促進**

熱輸送



© 2014 IBM Corporation
Farooq et al., IEDM 2011, "3D Copper TSV Integration, Testing and Reliability"

- TIM/スプレッダーおよびTIM/Chip界面の界面熱コンダクタンスの向上
- 搭載環境を考慮した高性能TIMの開発

7

複合機能の開発：ナノ複合材TIM材のオンサイト合成

通常のTIM材

1~5 W/mK ナノ粒子 (高熱伝導率)

ポリマー (高機械的コンプライアンス)

↑ 50 μm

CNTを用いた先行研究

銅からCNT突出 接触熱抵抗 ↓

Ngo, et al., Nano Lett, 4, 2403, (2004)

オンサイト合成プロセス

チップ / スプレッダー

カーボンナノファイバ (VGCF)

金属 (Al) プラズマ焼結 熱的バコーレーション

ポリマー

熱源

VGCF/Al Al 100 μm

Oobori, Nita, Miura, Shiomi (2015)

8

試料作製

Plasma Activated Sintering (PAS)
 加圧しながら最初にパルス電流を流し酸化被膜を除去し、その後試料に直流電流を流し発生するジュール熱で焼結

➢ 温度とVGCF厚さでAl浸透量制御

炭素繊維 厚さ → Al

➢ 炭素繊維の種類

CF	VGCF	MWCNT
20 μm	3 μm	1 μm

➢ 焼結後シリコンオイル滴下
 空隙 → 吸収 → シリコンオイル

VGCF → Al

Oobori, Nita, Miura, Shiomi (2015) 9

TIM材/固体界面熱抵抗

界面熱抵抗・・・物体の接合面で発生する熱抵抗[3]

他の固体/液体界面の報告例 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ mm}^2\text{K/W}$ 程度[4]

TIMの熱抵抗の概念図

膜厚減少, R_{TIM} ↓

$R_{total} = R_{interface} + R_{TIM}$

界面の熱抵抗が重要になる可能性

TIM内部と界面の熱抵抗の比較

Yada, Sakata, Oyake, Shiomi (2015) 10

時間領域サーモフレクタンス法(TDTR)

サーモフレクタンス
 温度変化 → 反射強度変化
 $\frac{\Delta R}{R_0} = \beta \Delta T$
 R_0 : 反射強度
 ΔT : 温度変化
 β : サーモフレクタンス係数

加熱光 → 表面加熱 → 遅れ時間操作 → 温度応答検出 → 検出光

検出光 → 光路長操作 → 検出光タイミング操作

検出光 → 加熱光 → sample

サンプル温度緩和波形

系の物性値反映
 波形から物性値求まる

波形の差からTIMに流れる熱がわかる
 → 熱コンダクタンス求まる

44

「マイクロ熱工学」教科書へ向けた活動

- 情報交換ウェブサイトを立ち上げ、各メンバー所有の資料や情報を共有。
- 教科書作成に向けた議論、基盤となる資料をまとめる作業。

ナノスケール熱工学研究関連資料

Albert Einstein
 "If you can't explain it simply, you don't understand it well enough."

12