

## シンポジウム S32 「フォノンエンジニアリング」

無機・有機複合材料で放熱問題に挑む～物理と応用の最前線～

2018年3月19日(月) 13時15分～ 18時50分 早稲田大学西早稲田キャンパス52号館C304

19pC304-1 オープニング 野村政宏(東大生研)



これまで、応用物理学会第62回学術講演会、第63回学術講演会で特別シンポジウムを開催していただいた。光・電子デバイスの高性能化・小型化が進み、放熱および冷却が喫緊の課題になっており、デバイス全体の熱設計の重要性が増している。課題解決のためには、無機と有機各材料中の熱伝導はもちろん、界面や複合系における熱伝導現象の理解が重要である。このシンポジウムは、フォノンエンジニアリング研究グループが企画した。

19pC304-2 無機・有機複合材料の界面熱輸送の評価と制御 塩見淳一郎(東大工)



熱輸送においては、ヒートシンク ( $\kappa \sim 1\text{kW/m}\cdot\text{K}$ ) から断熱材 ( $1\text{mW/m}\cdot\text{K}$ ) まで熱伝導率が6桁にわたる。球形粒子を媒質に混入した複合材の熱伝導はパーコレーションがなければ有効媒質近似で扱えるが、界面熱コンダクタンスが重要である。複合材の高熱伝導化には高次の工夫で、熱的パーコレーションを促進することが行われている。界面熱伝導の評価はポンプ・プローブ法による過渡応答測定が使われるがその解析には弾性的手法と非弾性的手法があるが、前者では温度依存性が考慮できない。後者では統計誤差に影響を受ける。非平衡性の効果はスペクトルから界面コンダクタンスへマッチングで明らかに出来る。

19pC304-3 無機・有機複合材料の低熱伝導率を利用した熱電特性向上 宮崎康次(九工大)



熱電変換素子の効率を表す  $ZT$  の改善には、低熱伝導材料が必要である。フレキシブル熱電薄膜デバイスにナノポーラス  $\text{Bi}_{0.4}\text{Te}_{7.0}\text{Sb}_{1.6}$  が注目される。電気抵抗が高いので、ポーラスの孔に PEDOT:Tos, PEDOT:PSS など有機伝導体を詰めてやることで  $300\text{K}$  の  $ZT$  を  $0.2$  まで持って行ける。印刷できるのが長所。有機無機ハイブリッドでは米国でも高い熱伝導が報告されている。界面熱抵抗の評価には、 $3\omega$ 法が使われる。この方法で評価した  $\text{BiTe}$  と  $\text{SiO}_2$  の界面熱抵抗は  $10^{-7}(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$

19pC304-4 ポリマー液体・ソフトマター中の熱輸送と固体接合界面熱抵抗低減 小原拓(東北大)



小原拓先生は「分子熱流体」の専門家。フォノンエンジニアリングというミクロの観点とは違う分子熱輸送モデルの確立が必要である。気体については気体運動論が、固体についてはフォノン熱伝導という理論があるが、液体には確立された手法はない。分子動力学に基づき、分子内、分子間、静電などの相互作用をきちんと把握していくことが必要である。

19pC304-5 高放熱性コンポジットの熱物性測定 森川淳子(東工大)



熱伝導性の測定には  $3\omega$ 法、レーザーフラッシュサーモリフレクタンス法、ACカロリメトリー法、温度波光音響法などがあるが、ロックインアンプを用いた交流  $3\omega$ 法がよく用いられる。振幅だけでなく、位相遅れから熱拡散を評価できる。このほかフーリエ変換法による高速温度波スペクトル解析、温度波熱分析法、マイクロ熱電対を用いたナノスケール熱輸送測定等がある。複合系、高分子球晶、高分子フィラーなどにおける熱測定の実例を示す。

19pC304-6 分子接合によるカーボンナノチューブ凝集体の熱伝導率制御の可能性 中村雅一 (NAIST)



ウェアラブル熱伝導ハーベスタは  $ZT$  だけでは評価すべきでない。CNTのウェットスピニングによるCNT紡績糸を用いると布状の熱電素子ができる。CNT紡績糸は紡績糸として熱伝導率の最小値を得た。

#### 19pC304-7 高分子材料の熱伝導と高熱伝導化技術 竹澤由高 (日立化成)



高分子複合材料の熱伝導は、樹脂とフィラーの組みあわせ、フィラーの高密度充填、構造異方性の制御でコントロールできる。ベースの樹脂の熱伝導率を上げるとともに、界面の分子の熱輸送を向上することが重要。フォノンの動的散乱の低下には共有結合密度の増大が必要。分子配向、熱可塑性が重要である。

#### 19pC304-8 スーパーグロス・カーボンナノチューブ含有の熱界面材料と応用 熊本拓朗 (日本ゼオン)



LSIの微細化・高集積化に伴って熱問題の解決が急務である。TIM(熱的インターフェース材料)としては、 $100\mu\text{m}$ 以上の厚みが必要。また平坦でなく $40\mu\text{m}$ の反りがあるなど、密着性に問題。日本ゼオンではCNTを軸に熱パスを確保するためSGCNT不織布の技術を利用する。バインダーとして可塑性フッ素ゴムを用いSGCNT5%でシート状になる。1%以下でも $20\text{W/mK}$ の熱パスを確保出来る。球状黒鉛添加で塗れる。比表面積の寄与が大きいので、SGCNTをほどこく工程が必要。

#### 19pC304-8 クロージング 丸山茂夫 (東大)



ナノチューブにおける熱伝導をもたらす1次元フォノンの振る舞いが十分解明されていない。CNTのまわりとの界面熱抵抗が、熱特性をほぼ決めてしまう。SWNT・SWNT間の熱伝導は $10\text{MW/m}\cdot\text{K}$ である。最近、CNTをBNナノチューブで覆った高熱伝導材料を開発した。CREST「ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出」に注目されたい。