

# マイクロメーター領域での熱伝導率測定

山田伊久子・桑 正市・渡利 広司

産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 先進焼結技術研究グループ

## 研究の概要

- セラミックス焼結体及びフィラーのマイクロメーター領域での熱伝導率を、数～数10 μmスケールで定量的熱物性測定が可能な熱物性顕微鏡を用いて評価した。

## 研究の特長

- セラミックス焼結体及びフィラーを構成する1粒子相当の熱伝導率の定量を実現した。
- 焼結体におけるマイクロメーター領域での熱伝導率分布の可視化に成功した。

## 研究の背景

**問題** 機器や装置の高性能化に伴う発熱量の増加

**課題** 放熱の制御

**開発の焦点** ● 放熱もしくは保熱を誘導する部材、構造及びシステムの開発  
● 微小・局所領域での熱設計

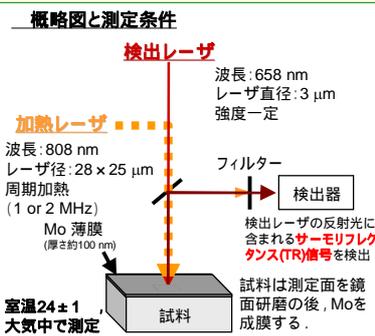
**材料評価の課題** 微細部の定量的熱物性評価が重要！

**目的** 放熱部材に用いられるセラミックス材料(焼結体・フィラー) 'アルミナ' '窒化アルミニウム' '炭化ケイ素'

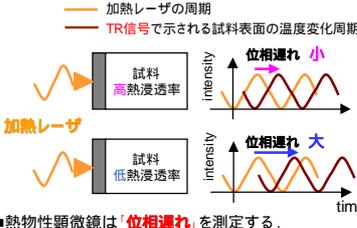
粒子サイズオーダーの熱伝導率測定とその分布の調査

## 熱物性顕微鏡

数～数10 μmスケールでの定量的熱物性測定が可能。  
粒子サイズオーダーの熱伝導率測定。



## '位相遅れ'と試料の熱浸透率・熱伝導率との関係



■ 熱物性顕微鏡は「位相遅れ」を測定する。  
■ 位相遅れ、熱浸透率、熱伝導率  
■ 「位相遅れ」は校正曲線を用いて「熱浸透率」へと換算。  
■ 次の式で「熱浸透率」から「熱伝導率」が求められる。  
$$\kappa = \frac{b^2}{\rho c} \quad (1)$$
  
κ: 熱伝導率 [W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>],  
b: 熱浸透率 [J・s<sup>0.5</sup>・m<sup>-2</sup>・K<sup>-1</sup>],  
ρ: 密度 [kg・m<sup>-3</sup>], c: 比熱 [J・kg<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>]

## 実験及び結果

### 焼結体1. 'アルミナ'

**測定試料 & 測定内容**

- スプレッドライ法で得られた顆粒を用いて作製した (1600 °C, 2h焼成)。
- 相対密度: 96.4%。
- 粒径: 数μm ~ 30 μm。

平均熱伝導率: 28.9 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
レーザーフラッシュ法: 30.6 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>

良い一致  
幅広い値: 5 ~ 40 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
異常値と 5 ~ 10 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>

気孔とその周辺部  
高い値 粒径大 1粒子の値  
低い値 粒径小 粒界を含んだ値  
異常値 内部欠陥を示す可能性。

微構造との比較から、粒子サイズと熱伝導率の関連性が示唆。

### 焼結体2. '窒化アルミニウム'

**測定試料 & 測定内容**

- 1900 °C, 100時間焼成
- 緻密化、助剤: Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- 平均粒径: 8 μm
- 粒界相: ほとんど認められない。

平均熱伝導率: 282 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
レーザーフラッシュ法: 272 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>

良い一致  
局所的には219 ~ 318 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
全ての粒界部において顕著な熱伝導率低下が認められなかった。

### 焼結体3. '炭化ケイ素'

**測定試料 & 測定内容**

- 市販ウエハー (n型半導体, CREE製, USA)。
- c面に40 μm × 40 μmの領域を2 μm間隔で測定。

単結晶・焼結体を比較  
熱伝導率分布に明瞭な差。

単結晶  
平均熱伝導率: 366 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
面内偏差: ±10 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
高い均一性。

焼結体  
平均熱伝導率: 257.6 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
面内偏差: ±50 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>  
緻密部で100 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>以上の違い。

### フィラー-1. 'アルミナ'

**測定試料 & 測定内容**

- 市販フィラー
- 低イオン性不純物, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 99.0%
- 高球形度の球状アルミナ
- D<sub>50</sub>=70 μm。

熱伝導率: 5 ~ 40 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup>

熱伝導率は局所的に約8倍異なる。

高熱伝導率 単結晶程度。  
低熱伝導率 微構造(気孔など欠陥)による影響を示唆。

### フィラー-2. '窒化アルミニウム'

**測定試料 & 測定内容**

- 開発フィラー
- 密度: 3300 kg/m<sup>3</sup> (緻密質)
- 酸素含有量: 0.83 mass%
- 成分: AlN, Al<sub>2</sub>Y<sub>4</sub>O<sub>9</sub> (粒界相), Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (粒界相)
- D<sub>50</sub>=65 μm。

平均熱伝導率: 220-300 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup> (世界最高水準)

フィラーをプラスチックに添加  
熱伝導率: 9.3 W・m<sup>-1</sup>・K<sup>-1</sup> を達成 (レーザーフラッシュ法)

## まとめ

- 焼結体及びフィラーにおける微小・局所領域の熱伝導率値及び熱伝導率分布についての成果を紹介した。
- これまで不明であった物性値の取得や可視化が可能であることを示した。

## 謝辞

本研究を進める上で、株式会社ベテル ハドソン 研究所に御協力を頂きました。この場を借りて、厚く御礼を申し上げます。