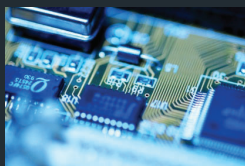


薄膜熱物性

- 標準物質の紹介と予定
- レビュー：近年の薄膜の熱物性研究

計量標準総合センター 物質計測標準研究部門
熱物性標準研究グループ
八木 貴志

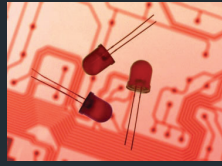
薄膜の熱物性はなぜ必要なのか？



LSI
(Low K)



Power device
(GaN, AlN, Diamond)



Lighting
(GaN, InN)

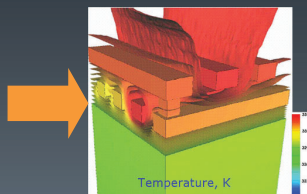


Flat panel display
(ITO, IZO, etc.)

薄膜材料は、現代の電子デバイスにすべからく用いられており、その熱物性は機器の性能や寿命に関わる

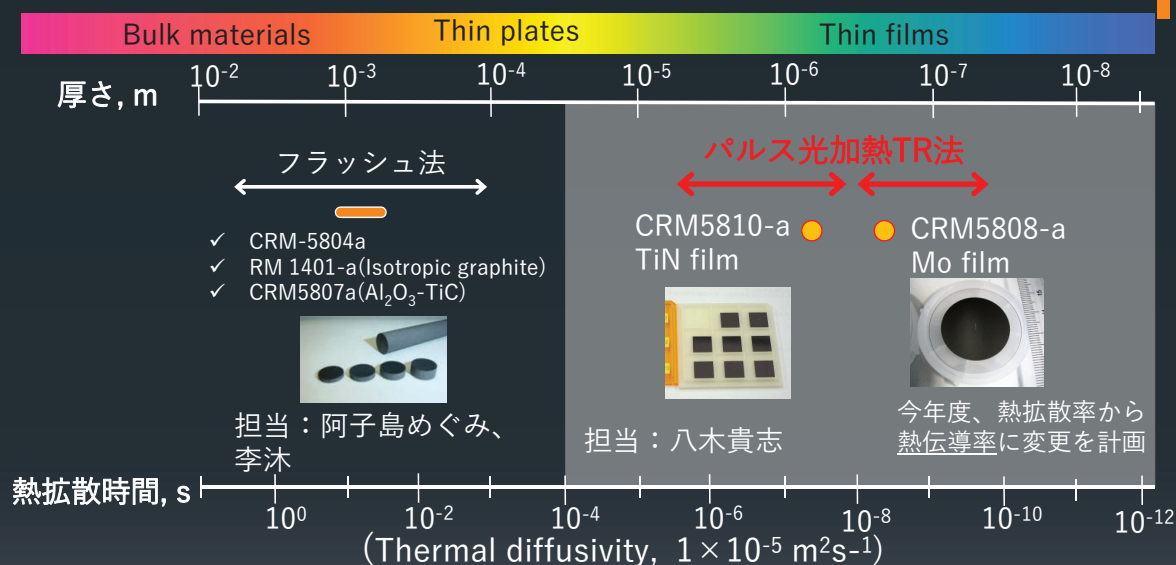
熱物性値

- ・ 熱伝導率
- ・ 熱拡散率
- ・ 比熱容量…



温度シミュレーション
発熱量、排熱量、温度上昇

熱拡散率の標準供給（計量標準総合センター）



旧産総研ベンチャー（現ネッチ・ジャパン社）

- ・ 認証標準物質
- ・ 日本工業規格
(JIS R1689, R1690)



機器の校正、
性能の担保

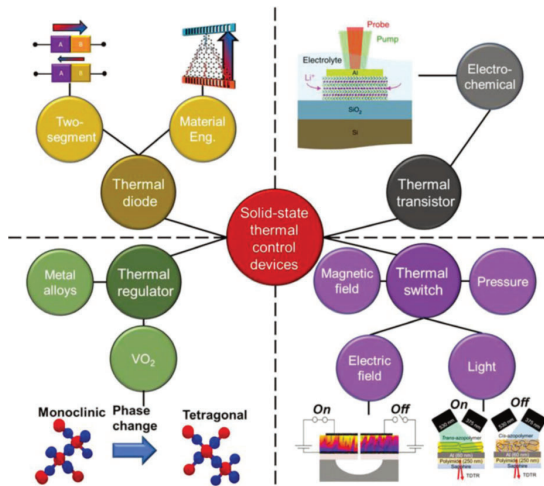
レビュー：近年の薄膜の熱物性研究をご紹介

- 薄膜材料の熱物性研究のトレンド
- 界面の熱移動の制御

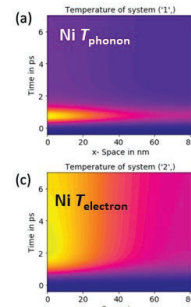
近年の新たな熱制御の展開

- ・ 熱エネルギーをより自由自在に制御する方法の探求
- ・ 超高熱伝導・超低熱伝導の追及：界面での熱移動の深い理解

固体熱制御素子 T. Swoboda et al., *Adv. Electron. Mater.* 2021

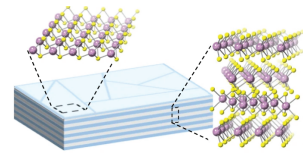


格子・電子温度の乖離



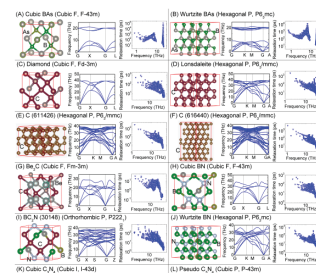
YJ Wu et al., *Int. J. Heat and Mass Trans.* 2021

超低熱伝導原子層材料



Kim et al., *Nature* 2021

機械学習による高熱伝導物質の探索



S. Ju et al., *Physical Review Materials* 2021

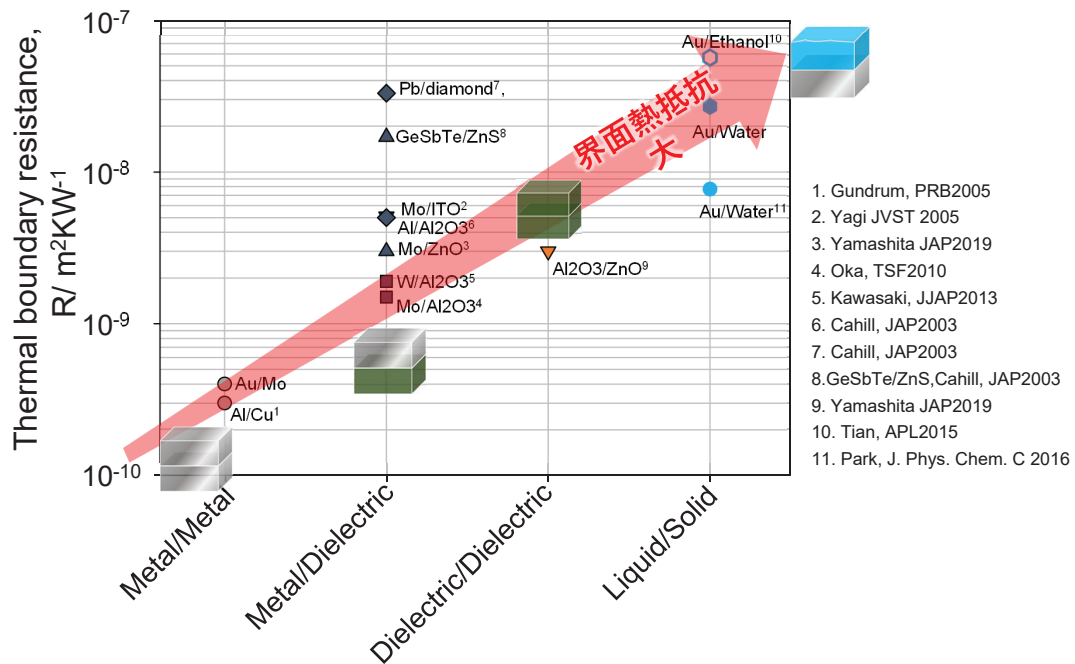
古典的論（統計論）では表現できない熱伝導への本質的な理解が必要

熱伝導機構から見た界面

- ・ 金属・絶縁体・液体によって熱の担体が変わる
- ・ これらの接合界面の熱移動の支配要因も変化

	金属	絶縁体	金属/絶縁体	固体/液体
界面種別				
担体	主に自由電子	フォノン	自由電子・フォノン	フォノン/自由電子 (S)、分子運動・衝突 (L)
界面の伝熱機構	電子の散乱・反射	フォノンの反射・透過	フォノンの反射・透過	NA
熱抵抗の支配要因	電子DOSの重なり	フォノン分散（異種）、界面ラフネス（同種）	電子フォノン結合定数、フォノン分散	おそらく固体側フォノンと液体側の分子運動・振動との結合

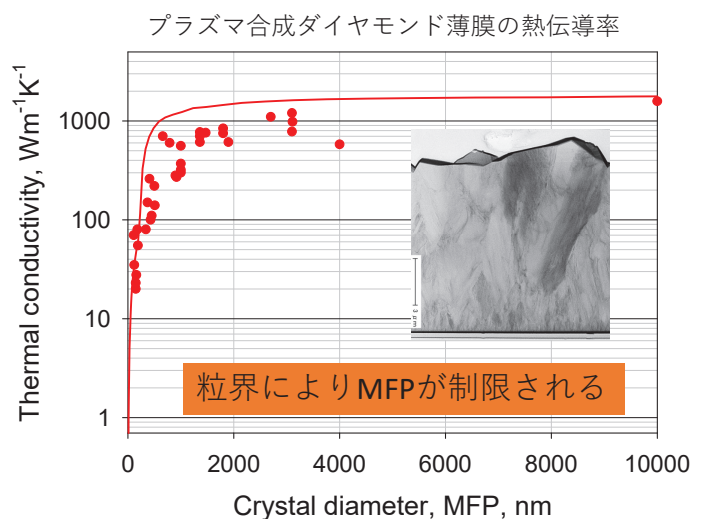
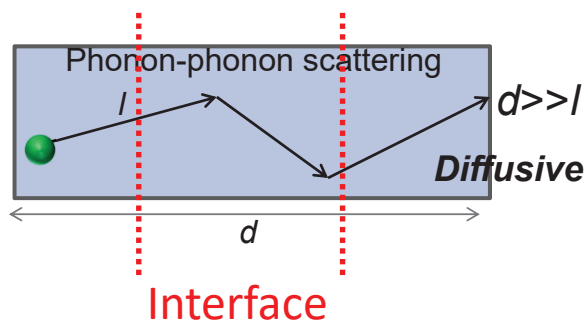
様々な界面の熱抵抗値



熱エネルギーの移動機構によって、界面の熱抵抗には3桁の違いが生じる

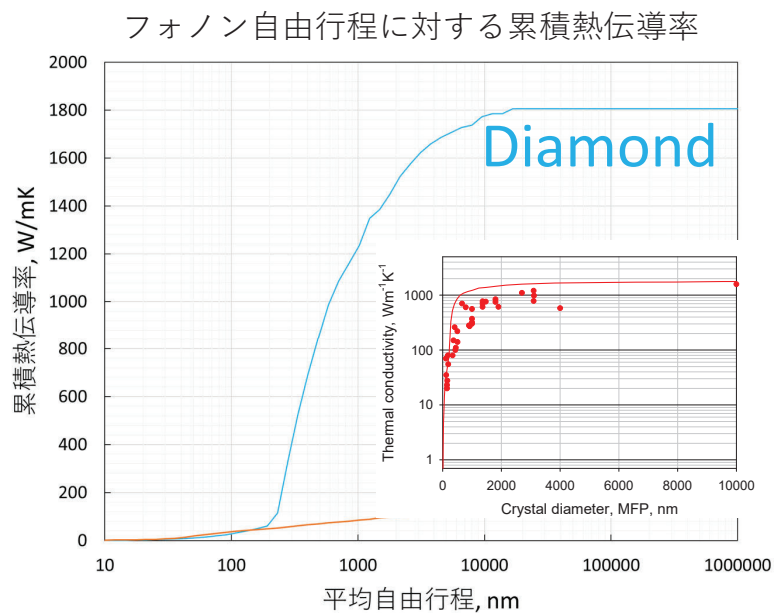
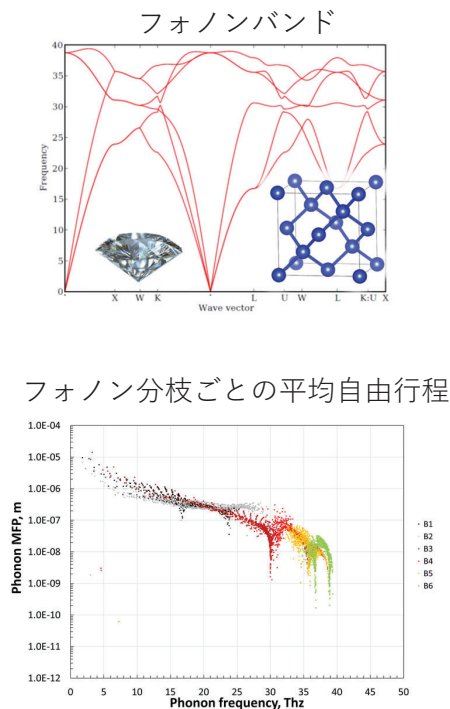
界面における熱移動

界面があるということは、フォノンが制限されるということ



界面間隔とMFPが同レベルの場合、熱伝導は界面密度に大きく依存 (フォノンを制限) する

ダイヤモンドの累積熱伝導率



熱伝導をフォノンのスペクトル的に理解することで初めて界面の影響が明らかになる

以下は配賦版では非公開です

薄膜熱物性

近年の熱物性に関する先端研究では、熱物性値を自在に制御するための手法や理論の理解が深まっています。NMIJでは、薄膜の熱拡散率の標準物質を開発・供給し、先端計測分野に貢献します。

- 2種類の薄膜の熱拡散率標準物質に加え、熱伝導率標準物質を開発中