

ナノインデンテーション法を用いたシリコンの熱輸送特性の測定

Measurement of thermal transport properties using nanoindentation method

東海大工¹, 九州工業大²,

°(M1)則正 雄賀¹, (B)長谷 匡高¹, (D)速水 舞¹, 室谷 裕志¹, 宮崎 康次², 高尻 雅之¹

Tokai Univ.¹, Kyushu Institute of Technology.²

°(M1)Oga Norimasa¹, (B)Masataka Hase¹, (D) Mai Hayami¹, Hiroshi Murotani¹,

Koji Miyazaki², Masayuki Takashiri¹

E-mail: 0cajmo44@cc.u-tokai.ac.jp

1. 緒言

現在、IoT(Internet of things)化により薄膜の熱マネジメント技術への期待が高まっている。しかし、薄膜のようにナノ・マイクロレベルに適応した熱物性の測定手法は限られている。

本研究では微小領域の硬さを測定可能な NI 法(ナノインデンテーション法)を用いることで、試料の弾性率からフォノンの群速度を求める。この群速度を基にしてフォノンの平均自由行程(MFP)及び格子熱伝導率を求める¹⁾。また既存のデータと比較することで、本手法の精度を確認し、新しい熱物性測定の実証を目的とする。

2. 実験方法

本研究では、まず測定方法の実証試験として薄膜だけでなく、熱物性が良く知られた Si 基板を用いた。用いた試料は Si(100)単結晶(抵抗率: 0.015~0.017 $\Omega \cdot \text{cm}$)である。Si 基板を希釈したフッ酸に 1 min 浸し、酸化膜の除去を行った。その後、イオン交換水に 1 min 浸し、自然乾燥させた。

NI 法を用いて、洗浄した試料を 5 ~ 500 mN の荷重を付加し、弾性率の測定を行った。

3 ω 法によって測定した同試料の格子熱伝導率と比熱²⁾、NI 法から測定したヤング率から算出した群速度を用いて平均自由行程を算出した。

3. 実験結果

Fig.1 に NI 法の原理図を示した。荷重を付加することで、ヤング率などの弾性率を得た。Fig.2 に荷重とヤング率の関係を示す。測定した荷重の全ての値が 200 GPa 前後の値を示した。Fig.3 には荷重と算出した MFP の関係を示した。試料深さに関係なく、フォノンの MFP は 39 ~ 45 nm の範囲内に収まる傾向にあった。この値はフォノンのスペクトル解析から計算された値の約 20%だった³⁾。今後、測定及び解析精度を高めていく予定である。

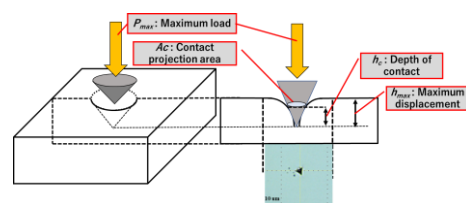


Fig.1 Schematic of NI method

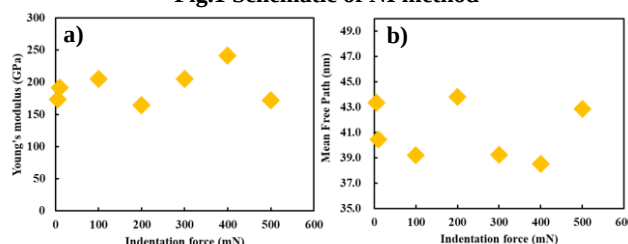


Fig.2 a) Young's modulus as a function of indentation force
b) MFP as a function of indentation force

4. 参考文献

- 1) D. Suh et al. Phys. Chem. Chem. Phys., 21, 2453 (2019).
- 2) H. R. Shanks et al. Phys. Rev. 130 1743 (1963)
- 3) C. Demes et al. J. Appl. Phys. 95, 682 (2004).