

3 ω 法による熱伝導率測定

Thermal Conductivity Measurement by 3 ω method

九州工大工¹ ○宮崎 康次¹

Kyushu Inst. Tech.¹, Koji Miyazaki¹

E-mail: miyazaki.koji055@mail.kyutech.jp

基板上に蒸着した厚みがわずか数 10～数 100nm の薄膜の熱伝導率測定は通常困難を極める。熱伝導がフーリエの法則に従うとすれば、熱流束 q [W/m²] は温度勾配 dT/dx [K/m] に比例ため、対象を加熱した場合、体積の大きい基板の熱応答が大きく、体積の小さい薄膜による熱応答が埋もれてしまうためである。改めてフーリエの法則を考え直すと、薄膜から得られる温度応答が非常に小さくとも、熱流束を非常に大きくすれば温度応答が測定できる可能性がある。この小さな温度応答を工夫次第で精度を高めて測定できる。大きな熱流束を加えて、薄膜に起因する小さな温度上昇を測定していることが 3 ω 法¹⁾による薄膜の熱伝導率測定である。

3 ω 法の解析については、周期加熱された細線周りの非定常熱伝導として、ベッセル関数の解が用いられる。非定常熱伝導であるため、加熱した信号がどれだけの距離伝わるか（温度浸透深さ）が大事であり、この距離が測定試料全体の厚さより薄い場合は試料の設置状態など細かい点を考慮する煩わしさを必要としない。一方でそれら条件が測定に満たされていない場合、測定結果を誤って理解することもあり得る。測定で得られる薄膜の見かけの熱伝導率についても温度浸透深さが膜厚よりも非常に大きいことを仮定し、界面熱抵抗なども見かけの熱伝導率に含まれた状態となっているため、膜厚が非常に薄い際には測定結果の理解について注意を払う必要がある。材料を固定して、膜厚を変えて測定すれば、見かけの熱伝導率に含まれる界面熱抵抗の情報を取り除くこともできる²⁾。しかし薄膜が非常に薄い場合、界面熱抵抗は膜厚にも依存するため、結果をどのように理解するかがあいまいな点ともなり得る。講演ではフォノンの平均自由行程よりも薄い薄膜の熱伝導率³⁾にも触れながら、3 ω 法のテクニカルな点から、測定される見かけの熱伝導率について触れる。

1) D.G. Cahill, M. Katiyar, and J.R. Abelson, Phys. Rev. B, Vol. 50, pp.6077-6081 (1994).

2) 栗山, 矢吹, 宮崎, Therm. Sci. & Eng., Vol. 27, pp.53-58 (2019).

3) 日本熱物性学会編 ナノ・マイクロスケール熱物性ハンドブック, 養賢堂(2014)