18a-A7-9

3ω 法における温度振幅の複素解析

Complex analysis of temperature amplitude in 3ω method

北陸先端大，○西野俊佑，小矢野幹夫，大平圭介

JAIST, ○Shunsuke Nishino, Mikio Koyano, and Keisuke Ohdaira

Email: s_nishino@jaist.ac.jp

我々のグループでは，Bi-Te 系熱電インク試料を用いて厚膜試料を作製し，その熱伝導率を 3ω 法で測定する手法を検討してきた [1, 2]．過去の報告では，金属細線に発生する角周波数 3ω の電圧振幅 $V_{3\omega}$ を測定することで得られた角周波数 2ω の温度振幅ΔT を用いて，試料の熱伝導率κを求めた．しかし，実際にはΔT が次式で近似される複素数であることを考慮する必要がある [3].

$$\Delta T = \frac{P}{2\pi l\kappa}\left(-\frac{1}{2}\ln f - \mathrm{i}\frac{\pi}{4} + \mathrm{C}\right) \tag{1}$$

ここで，P/l は細線の単位長さあたりに発生する熱量，f は入力電流の周波数，C は実数定数である．本研究では，より正確な熱解析を行うため，3ω 電圧 $V_{3\omega}$ の振幅に加えて位相を測定し，それを用いてΔT を実数部と虚数部に分解した．さらに，分解した各成分から熱伝導率を導出し，ΔT の絶対値から導出される熱伝導率の値との比較を行った．

測定装置の概要に関しては既報の通りである [1]．入力電流を基準として，細線に誘起された 3ω 電圧の位相差θを検出するよう測定プログラムに改良を施した．

本研究では 3 種類の実験配置で 3ω 測定を行った．得られた θを用いて ΔT を実部と虚部に分解した結果を Fig. 1 に示す．金属細線を設置後，絶縁膜を堆積させたガラス基板を用いて測定した結果を◇（Glass），二方向熱流モデル[1, 2]に基づき，そのガラス基板を自作の小型加圧セルに設置した状態で測定した結果を△（Pressure cell），ガラス基板に加え Bi-Te 系厚膜試料を加圧セルに設置し測定した結果を●（Bi-Te）でそれぞれ示した．実数部はおよそ 2～18 Hz の周波数帯で直線的に減少しており，一方で虚数部は同じ周波数帯でほぼ一定の値を示す．式(1)の変形により，κ はΔT の実数部 Re[ΔT] の周波数依存性，および虚数部 Im[ΔT] の一定値を用いて次式で表現される．

$$\kappa = -\frac{P}{4\pi l}\left(\frac{\mathrm{d}\,\mathrm{Re}[\Delta T]}{\mathrm{d}\ln f}\right)^{-1} \tag{2}$$

$$\kappa = -\frac{P}{8l\,\mathrm{Im}[\Delta T]} \tag{3}$$

実際に Bi-Te の場合の熱伝導率を計算してみると，実数部（式(2)）からはκ = 1.40 WK^{-1}m^{-1}，虚数部（式(3)）からはκ = 1.49 WK^{-1}m^{-1} という値が得られた．これにより，虚数部から求めた熱伝導率と実数部から求めた熱伝導率は誤差 7 %以内と良く一致することがわかった．さらに，これらの値は従来通りΔTの絶対値を用いて計算したκ = 1.42 WK^{-1}m^{-1} に対しても，非常に良い一致を示した．

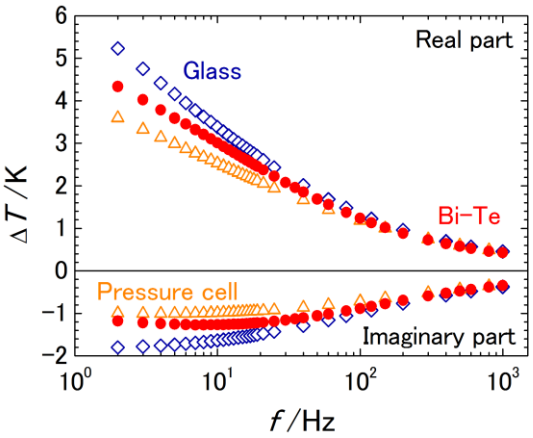

Fig. 1. Real and imaginary part of complex temperature increase

[1] S. Nishino, M. Koyano, K. Suekuni, and K. Ohdaira, *J. Electr. Mater.* **43**, 2151 (2014).

[2] 西野，小矢野，大平，第 61 回応用物理学会春季学術講演会(19p-F11-14).

[3] D. G. Cahill, *Rev. Sci. Instrum.* **61**, 802 (1990).

© 2014 年　応用物理学会