3ω 法を用いた Cu ワイヤーの熱伝導率測定による離散フーリエ変換を用いた正弦交流電圧測定の検証

Verification of measuring sinusoidal AC voltage by Discrete Fourier Transform by measuring thermal conductivity of Cu Wire by 3ω method

埼玉大院 [1]　○高田 丈志 [1], 長谷川 靖洋 [1]
Saitama Univ. [1]　○Takeshi Takada[1], Yasuhiro Hasegawa[1]
E-mail: takada@env.saitama-u.ac.jp

【背景】

熱伝導率 κ の測定方法として 3ω 法がある[1] 。この手法はワイヤー形状の試料に対し正弦波交流電流を印加し、その 3 倍高調波成分電圧 $V_{3\omega}$ の低周波極限値から κ を算出できる。$V_{3\omega}$ を測定する機器として、特に熱物性においては 1Hz 以下の測定が可能な位相敏感検波器を使用するデジタルロックインアンプが用いられる。一方で近年の高サンプリング周波数・大容量バッファを備えたデジタルマルチメータを用いることで、正弦交流波電圧を正しい波形で長時間測定が可能となり、この測定データの離散フーリエ変換(DFT)の解析することで $V_{3\omega}$ を得るアプローチも考えられる。本研究では DFT を用いた正弦波交流の n 倍高調波成分電圧 $V_{n\omega}$ の測定手法の考案と、その実用性について 3ω 法を用い Cu ワイヤーの κ の測定を具体例としてロックインアンプを用いた測定と比較・検討する。

【DFT による正弦波信号の解析・振幅算出】

任意の時間区間を設け 1 つの周期の時間関数 g(t)として扱い、周期間の連続性を保つため Blackman Harris 窓関数 w(t)を作用させ DFT を行う($\mathcal{F}$[g(t) w(t)])。その結果に対し、窓関数を離散フーリエ変換した関数 $\mathcal{F}$[w(t)]に基づくフィッティングから測定対象の振幅を計算する。

【 DFT 解析を用いた 3ω 法による検証】

試料として直径 25μm、長さ 9.33mm の Cu ワイヤーを用意し、時間区間 100ks で測定温度を 100K とし電流実効値 35mA、周波数 0.1Hz の正弦波交流電流を印加して行った電圧測定を例に検討する。この時間軸の測定結果に対し DFT を行った結果を Fig.1(a)に示す。$V_{1\omega}$ と $V_{3\omega}$ が明確に現れ、3ω 法の理論に一致する結果が得られた。更に、3ω 成分についてのフィッティング結果 $V_{3\omega,DFT}$ とロックインアンプによる測定電圧 $V_{3\omega,L}$ の比較を Fig.1(b)に示す。$V_{3\omega,DFT}$ に比べ $V_{3\omega,L}$ は 4%程度小さく算出され、これらから算出した κ は Fig.2 に示すとおりであり、特に $V_{3\omega}$ が小さい、κ の大きな領域において、ロックインアンプによる測定では κ を過大評価に繋がる可能性がある。

以上より、$V_{3\omega}$ 測定において DFT を用いた解析がより有効であった。

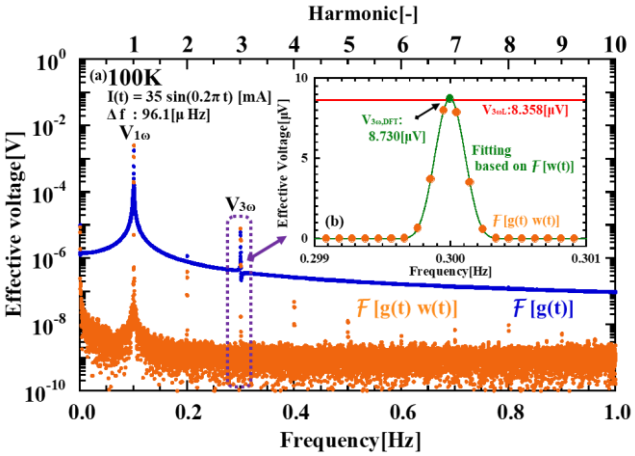

Fig.1(a) DFT of measuring at 100K (b) Fitting based on $\mathcal{F}$ [w(t)] and measured by Lock in Amp

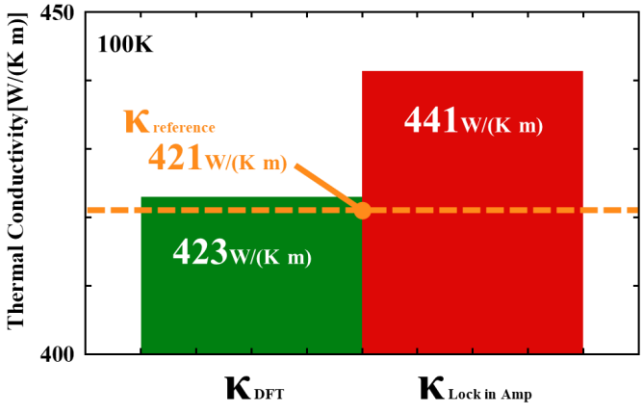

Fig.2 Result of measuring κ by DFT and Lock in Amp at 100K
*$\kappa_{reference}$ is quoted from data base (RRR:30) [2]

【参考文献】

[1] Chris Dames et al., Review of Scientific Instruments 76, 124902 (2005)
[2] AIST Network Database System for Thermophysical Property Data