

無次元性能指数決定法の提案

Proposal of the determination of the dimensionless figure of merit

○竹内 舞¹, 長谷川 靖洋¹ (1. 埼玉大工)

○Mai Takeuchi¹, Yasuhiro Hasegawa¹ (1.Saitama Univ.)

E-mail: takeuhchi@env.saitama-u.ac.jp

【背景】熱電素子の無次元性能指数 zT を直接測定する方法として、時間軸で考えるハーマン法と、周波数軸で考えるインピーダンススペクトロスコピー法(IS 法)が提案されている。^{1,2} IS 法より熱電素子は、熱電素子の抵抗 R_{ohm} 、熱電効果による抵抗 R_{TE} 、熱電素子の熱容量 C_{TE} からなる等価回路で表される。^{1,3} (図 1)それぞれの方法で zT は表 1 のように時間または角周波数の両極限での抵抗の比から決定されるため、IS 法の理論よりこれらの手法は等価であることが示されている。³

本研究グループではこれまで IS 法による zT 測定を行ってきたが、1mHz 程度の低周波での測定が必要であり、 zT を決定するために数時間かかっていた。そこで、IS 法の基になっている非定常状態の 1 次元熱伝導方程式に基づき、熱電素子の等価回路で近似をした新たなモデルより、時間軸を用いて短時間で無次元性能指数 zT を正確に決定できることを提案し実験で実証する。

【実験】 10^{-5} Pa 程度の真空断熱状態で、 300.000 ± 0.002 K に制御されたサンプル台に BiTe 系のペルチェモジュールを設置した。 $\pm 100\mu A \sim \pm 500mA$ の直流電流を用いてモジュールの抵抗 $R_{mes}(t)$ の過渡応答を測定した。

【結果】 $t=0$ で電流を流し始めたときの $R_{mes}(t)$ の時間変化を図 1 に示す。 $R_{mes}(t)$ は電流を流し始めると瞬間的に立ち上がり、時間経過とともに大きくなり 50 秒ほどで安定した。さらに絶対値 2mA 以上の電流では 1 時間後も $\pm 1m\Omega$ 程度の誤差で安定した。一方、 $\pm 100\mu A$ では $\pm 10m\Omega$ 程度の変位があり、これは実測値で $\pm 1\mu V$ に相当する。次に、図 2 に安定後の抵抗 $R_{mes}(t \rightarrow \infty)$ の電流依存性を示す。 $R_{mes}(t \rightarrow \infty)$ は電流によって異なり、 $-20mA \sim +20mA$ の電流では $0.876 \pm 0.011\Omega$ 、 $+500mA$ では 1.338Ω 、 $-500mA$ では 0.696Ω となった。この値を用いて表 1 より zT の電流依存性を図 2 の挿入図に示す。 zT は $500mA$ で 1.81、 $-500mA$ で 0.46 となり大きく異なった。また、時定数 τ を算出したところ約 3.5 秒であり、 $R_{mes}(t \rightarrow \infty)$ 、 zT と同様に電流依存性を示した。

ここで、適切な近似の下で非定常状態の 1 次元熱伝導方程式に基づく新たなモデルにおいて、この電流依存性はペルチェ熱とジュール熱のバランスに起因することが明らかになった。この知見をもとに、 $R_{mes}(t)$ の過渡応答を説明するモデルと共に、時間軸を用いて数分間で正確に無次元性能指数 zT を決定する方法を示す。

【参考文献】

- 1) J. G-Canadas et al., J. Appl. Phys. 116,174510 (2014)
- 2) T. C. Harman et al., J. Appl. Phys. 30, 9 (1959)
- 3) Y. Hasegawa et al, AIP Advanced 8,075222(2018)

表 1 : ハーマン法と IS 法の比較

	ハーマン法 ²	IS 法 ³
軸	時間	角周波数
R_{ohm}	$R(t=0)$	$Z(\omega \rightarrow \infty)$
$R_{ohm}+R_{TE}$	$R(t \rightarrow \infty)$	$Z(\omega \rightarrow 0)$
zT 評価	$\frac{R(t \rightarrow \infty)}{R(t=0)} - 1$	$\frac{Z(\omega \rightarrow 0)}{Z(\omega \rightarrow \infty)} - 1$
測定時間	数分間	数時間

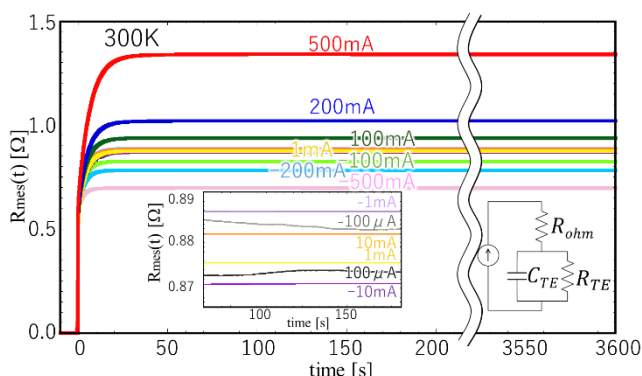


図 1 : モジュールの抵抗の時間変化, モジュールの抵抗の時間変化(挿入図)

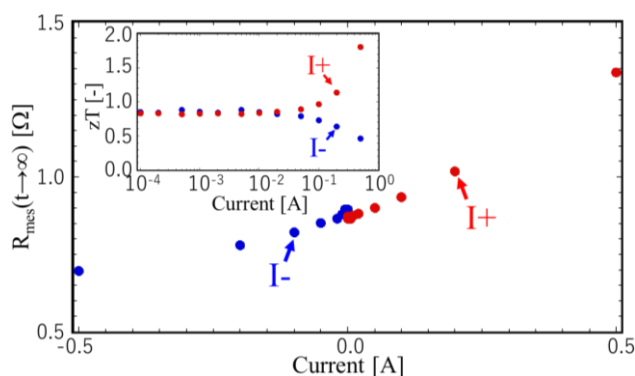


図 2 電流ごとの抵抗 $R_{ac}(t \rightarrow \infty)$, 電流ごとの無次元性能指数 zT (挿入図)