

ルビー蛍光強度計測法による Warm Dense Matter の熱伝導率計測 Measurement of thermal conductivity for warm dense matter by using ruby fluorescence

佐々木徹, 高橋拓也, 大内匠, 川口悦成, 高橋一匡, 菊池崇志, 阿蘇司, 原田信弘
Toru Sasaki, Takuya Takahashi, Takumi Ohuchi, Yoshimasa Kawaguchi, Kazumasa Takahashi,
Takashi Kikuchi, Tsukasa Aso, and Nob. Harada

長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology

Warm Dense Matter (WDM) の熱伝導率は, 様々な理論モデルが提案されているが, 近年, 有限温度密度汎関数動力学モデルにより高圧水素の熱伝導率を理論的に解析した結果, 低密度領域では Wiedemann-Franz 則に従わないことが明らかとなっている [1]. 一方で, WDM 領域の熱伝導率は実験的に評価された例はなく, その手法を構築することにより, 理論モデルの妥当性を評価する必要がある.

このような状態の熱伝導率について半実験的に評価するために, 高速パルスパワー放電装置 [2-3] により得られている電気伝導率と Wiedemann-Franz 則を用いて, 熱伝導率を推定する方法を提案した [4]. これにより, Redmer ら [5] によって得られている 10000 K のタングステン WDM の導電率-密度依存性を比較した結果, 固体密度の 1/30 までの領域ではよく一致していることが明らかとなった. また, Wiedemann-Franz 則を用いて 10000 K のタングステン WDM の熱伝導率を推定した結果, 固体密度の 1/30 までの領域で定量的に一致することが明らかとなった. この領域は, おおよそ電子の縮退度 $\theta = 1$ 程度となる領域と一致しており, 熱伝導に対するエネルギーキャリアが電子であることを示唆した結果である. 一方, 低密度側では, Redmer らの理論モデルとは導電率や熱伝導率等の輸送係数が大きく異なっており, エネルギーキャリアや輸送特性を特徴づける電子及びイオン間結合に伴うフォノンの挙動が異なる可能性が明らかとなった.

このような状態の熱伝導率を理論モデルを介さずに熱伝導率を評価するため, ルビー蛍光を用いた熱伝導率評価方法を検討した. Warm Dense Matter から発生する圧力と発光を利用してルビーの蛍光を発生させ, それによりルビーの状態から熱伝導率を逆問題的に解析する点にある. ルビー蛍光については, ダイアモンドアンビルセルを用いた高圧物性計測により, 蛍光線である R1 及び R2 線の圧力及び温度依存性が明らかになっている. これより, ルビーへの単位時間あたりの加熱量 $Q = mC_{vR}(\partial T_R/\partial t)$ を見積もる事が出来る. 一方, 単位時間あたりに Warm Dense Matter からルビーキャピラリーに伝わる熱流束 Q は, 熱伝導率を κ , 温度 T とすると,

$$Q = -\kappa \nabla T \sim -\frac{\kappa_R + \kappa_{WDM}}{2} \frac{T_{WDM} - T_R}{\Delta r} \quad (1)$$

であるため, ルビーの温度変化が定量的に計測できれば, Warm Dense Matter の熱伝導率を定量的に求めることが出来る. ここで, 下付きの R 及び WDM をそれぞれルビー及び Warm Dense Matter の物理量である. これにより, これまで計測することが困難であった Warm Dense Matter の熱伝導率を計測することができる.

本講演では, 数値計算により, 本手法の適用可能領域と計測結果について報告する予定である.

- [1] B. Holst, et. al., Phys. Rev. B, **83**, 235120 (2010).
- [2] T. Sasaki, et. al., Phys. Plasmas, **17**, 084501 (2010).
- [3] Y. Amano, et. al., Rev. Sci. Instrum., **83**, 085107 (2012).
- [4] T. Sasaki, et. al., IEEE transaction on Plasma Sciences, **40**, 3455 (2012).
- [5] S. Kuhlbrodt et. al., Contrib. Plasmas Phys., **45**, 73-88. (2005).