

ルビー細管定積加熱放電による高密度タングステンプラズマの  
熱伝導率計測法の検討

Measurement of Thermal Conductivity in Dense Tungsten Plasma by using  
Isochoric Pulsed-Discharge with Ruby Capillary

佐々木徹, 高橋拓也, 菊池崇志, 阿蘇司, 原田信弘

Toru Sasaki, Takuya Takahashi, Takashi Kikuchi, Tsukasa Aso, and Nob. Harada  
長岡技術科学大学

Nagaoka University of Technology

国際熱核融合実験炉 (ITER) や DEMO 炉等の磁場閉じ込め核融合方式では, ダイバータが必要であるが, ダイバータに入射する荷電粒子は, 高い運動エネルギーを持つため高い熱負荷を受け, プラズマディスラプション時のダイバータへの熱負荷は  $1000 \text{ MW/m}^2$  以上となる. そのため, 高融点金属であるタングステンによってダイバータを設計することが検討されている. タングステンは高 Z 材料のため, アブレーションする際の核融合プラズマへの定量的な影響を考慮する必要がある. このようなアブレーション状態を定量的に取り扱うためには Warm Dense Matter (WDM) の熱容量や熱伝導率を定量的に評価しなければならない.

我々はこのような状態の熱伝導率を評価するために, 高速パルスパワー放電装置 [1-2] により得られている電気伝導率と Wiedemann-Franz 則を用いて, 半実験的に熱伝導率を推定する方法を提案した [3]. これにより, Redmer ら [4] によって得られている  $10000\text{K}$  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  $10000\text{K}$  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. 上記の結果を基に, 電子の縮退度  $\theta=1$  となる領域までの  $5000\text{K}$  のタングステンの熱伝導率を見積った.  $5000\text{K}$  における高密度タングステンの密度-熱伝導率の依存性を示す. この結果から, 熔融し蒸発した高密度タングステンは固体密度の  $1/30$  まで熱伝導率が単調減少していき, 最小熱伝導率は  $0.1 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$  程度であることが明らかとなった [4]. 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.

一方, WDM の熱伝導率を直接計測し, 評価した例はこれまでに無い. その原因は, WDM 内部は光学的に非常に厚く密度が高いプラズマであるためである. 本研究では, WDM の熱伝導率を計測するために, 天野ら [2] が実施した定積加熱パルスパワー放電で用いているサファイアキャピラリーをルビーキャピラリーに変えることで, 剛体壁内部の温度分布及び WDM の温度から熱伝導率を直接推定できると考えられる.

ルビーとサファイアの物性的特性はほとんど差異がなく, サファイアキャピラリー同様 WDM の閉じ込めが可能である. 一方, ルビーは, WDM からの圧力および放射光により R1 線 ( $694 \text{ nm}$  近傍) 及び R2 線 ( $693\text{nm}$  近傍) の蛍光を発することが知られており, その蛍光線は, 高圧力ほど長波長側にシフトし, ルビー温度が上昇するに従い強度が減衰していく. これを適切に利用することで, ルビーの温度変化を知ることができ, WDM からルビーへの熱流束  $Q$  を明らかにすることが出来る. 一方, 熱流束  $Q = -\kappa \nabla T$  は, WDM とルビー界面での熱流束であるため, 熱伝導率を  $\kappa$ , 温度を  $T$  として, 添字 R および WDM をルビー及び WDM の物理量とすると

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

と書くことが出来る. ここで,  $\Delta r$  は計測スケールである. 本報告では, 数値解析により WDM の熱伝導率計測を行えることを明らかにしたので, その結果について報告する.

本研究は, 科学研究補助金若手研究 (B) (23740406) 及び核融合科学研究所一般共同研究 (NIFS1KEMF019) の助成を受けて実施したものである.

[1] T. Sasaki, *et. al.*, Phys. Plasmas, **17**, 084501 (2010).

[2] Y. Amano, *et. al.*, Rev. Sci. Instrum., **83**, 085107 (2012).

[3] T. Sasaki, *et. al.*, IEEE transaction on Plasma Sciences, to be published **40**, No. 12 (2012).

[4] S. Kuhlbrodt *et. al.*, Contrib. Plasmas Phys., **45**, 73-88. (2005).