

TES 型マイクロカロリメータにおけるボルテックスダイナミクス

Vortex Dynamics in the TES Microcalorimeters

九大院¹ ○ 江崎 翔平¹, 前畑 京介¹, 伊豫本 直子¹, 篠崎 文重¹

Kyushu Univ.¹ ○ S. Ezaki¹, K. Maehata¹, N. Iyomoto¹, B. Shinozaki¹

E-mail: ezaki@kune2a.nucl.kyushu-u.ac.jp

[背景] X線検出器の1つにマイクロカロリメータがある。マイクロカロリメータは、温度計、X線吸収体、冷熱浴および温度計と冷熱浴間の熱リンクで構成される。温度計に超伝導体を用いた超伝導転移端センサ (TES) 型マイクロカロリメータは、X線を優れたエネルギー分解能で検出することができる。

TES 型マイクロカロリメータのエネルギー分解能の理論値は、TES 感度と種々のノイズ強度分布から計算される。しかし、計算法が確立している Johnson ノイズと Phonon ノイズ以外のノイズ (超過ノイズ) の寄与により、理論的に予測されたエネルギー分解能が実験値を再現しない。超過ノイズの候補として超伝導由来のノイズが考えられており、その1つがボルテックスの運動によるノイズである。2 次元超伝導体では、自発的にボルテックスとそのボルテックスと逆向きの反ボルテックスが生成される。低温ではボルテックスと反ボルテックスは対を作り、電流を印加しても (反) ボルテックスは運動しない。しかし高温では、ボルテックス対の乖離が起こる。そのため、電流印加によりボルテックスが運動をはじめ、電圧が発生する。ボルテックス対の乖離は、Berezinskii-Kosterlitz-Thouless 転移 (BKT 転移) と呼ばれ、実験が行われてきた。しかし、TES における BKT 転移の研究は十分になされていない。そこで本研究では、TES の材料となる Ti 薄膜を作製し、Ti 薄膜における BKT 転移の存在を検証した。

[実験] スパッタ法を用いて膜厚 40 nm の Ti 薄膜を SiN_x 基板上に成膜した。作製した試料の電気抵抗 R の温度依存性と電流電圧特性を測定した。試料の carrier 数を見積るため、Hall 係数を測定した。

[結果] 図 1 に試料の面抵抗 $R_{sq}(=Rw/l, w$: 試料幅, l : 試料長さ) の温度依存性を示す。 $R_{sq}-T$ 曲線には、2 段転移が観測された。すなわち、試料薄膜は、超伝導転移温度 $T_{C1} = 472.6$ mK (Film 1) と $T_{C2} = 464.6$ mK (Film 2) の 2 種類の薄膜が直列に接続された試料であると近似できる。Film 1 と Film 2 の常伝導状態における面抵抗値は、それぞれ $R_{sq1}^N = 13.6 \Omega$ と $R_{sq2}^N = 5.6 \Omega$ である。図 2 に T_{C1} 近傍における電流電圧特性を示す。図 2 中の挿入図は、 $V \propto I^\alpha$ としたときのべき指数 α の温度依存性である。BKT 転移の理論によると、BKT 転移温度 T_{BKT} において、 $\alpha = 3$ が得られる。 $\alpha-T$ から、 $T_{BKT} = 472.4$ mK を得る。 T_{C1} 近傍において、 $T_{BKT} \approx T_C(1 + 0.173R_{sq}^N/R_C)^{-1}$ の関係が得られている、ここで $R_C = \hbar/e^2$ (\hbar : Planck 定数, e : 電気素量) である。この関係式から、 $T_{BKT} = 472.3$ mK が得られる。 T_{BKT} の実験値と理論式から見積もった値が近いことから Ti 薄膜 (Film 1) において BKT 転移が起きている可能性がある。

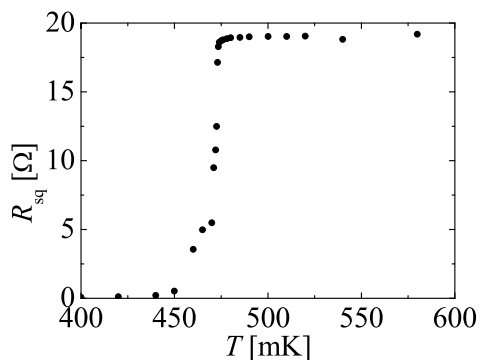


Fig. 1: Temperature dependence of sheet resistance for Ti film.

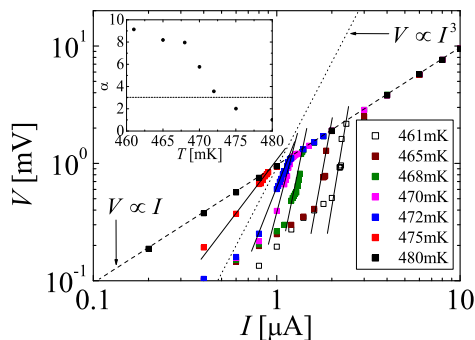


Fig. 2: Relationship between voltage and applied current. Inset shows $\alpha(T)$ dependence, where $V \propto I^\alpha$.