

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО МЕТАЛЛА ТУЛИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.В. Деревянко, В.А. Финкель

*Национальный научный центр “Харьковский физико-технический институт”,
Харьков, Украина*

E-mail: finkel@kipt.kharkov.ua

Изучен характер температурной зависимости электросопротивления поликристаллических образцов редкоземельного металла тулия в диапазоне температур $\sim 15 \dots 300$ К, включающем температуры магнитных фазовых переходов парамагнетизм \leftrightarrow спиральный антиферромагнетизм в точке Нееля, $T_N \sim 55$ К, и спиральный антиферромагнетизм \leftrightarrow коллинеарный ферромагнетизм при $T_{AF \leftrightarrow Ferri} \sim 30$ К. В T_N обнаружены перегиб на кривой температурной зависимости удельного электросопротивления $\rho(T)$ и острый минимум на кривой $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$, характерный для фазовых переходов второго рода. При $T_{AF \leftrightarrow Ferri}$ обнаружен широкий максимум на кривой температурной зависимости логарифмической производной электросопротивления $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$, наличие которого дает основания полагать, что магнитное превращение в $T_{AF \leftrightarrow Ferri}$ является фазовым переходом первого рода.

Ранее нами были проведены исследования электрофизических свойств ряда тяжелых редкоземельных металлов (РЗМ) – Gd [1], Tb [2], Dy [3] – и установлен характер влияния магнитной структуры РЗМ на особенности температурных зависимостей электросопротивления этих металлов при низких температурах. Настоящая работа служит естественным продолжением данного цикла исследований.

Редкоземельный металл тулий (Tm) – единственный элемент Периодической системы, обнаруживающий при низких температурах ферромагнитное упорядочение: ниже ~ 30 К вдоль главной оси с ГПУ-решетки попеременно чередуются антипараллельно направленные четыре и три магнитных момента: $\uparrow\uparrow\uparrow\downarrow\downarrow$. В диапазоне ~ 30 ($T_{AF \leftrightarrow Ferri}$)... ~ 55 К (T_N) реализуется спиральная антиферромагнитная структура, выше T_N Tm находится в парамагнитном состоянии (см., например, [4, 5]). Исследованию магнитных и транспортных свойств моно- и поликристаллов, а также тонких пленок тулия посвящено значительное число работ [6–10].

Из-за наличия уникального низкотемпературного магнитного фазового перехода в ферромагнитное состояние тулий представляет значительный практический интерес для применения его в качестве рабочего тела термомагнитного преобразователя энергии [11] с высоким коэффициентом полезного действия.

Целью настоящей работы является изучение характера температурной зависимости электросопротивления поликристаллических образцов тулия при $\sim 15 \dots 300$ К, т. е. в диапазоне, включающем температуры магнитных фазовых переходов парамагнетизм \leftrightarrow спиральный антиферромагнетизм и спиральный антиферромагнетизм \leftrightarrow коллинеарный ферромагнетизм.

Объектами исследования служили поликристаллические образцы Tm чистотой 99,7 % с характерными размерами $1 \times 1 \times 10$ мм. Электросопротивление образцов изучали с помощью приборно-программного измерительного комплекса (ППИК) на базе персональной ЭВМ [12]. Установка ППИК для измерения электрофизических и магнитных свойств в диапазоне $\sim 10 \dots 300$ К создана на основе криогенератора RGD-210 (Leybold). Датчиком температуры служил платиновый термометр сопротивления.

Результаты измерений температурной зависимости удельного электросопротивления $\rho(T)$ тулия показаны на рис. 1 (на врезке в большем масштабе показан низкотемпературный участок кривой $\rho(T)$).

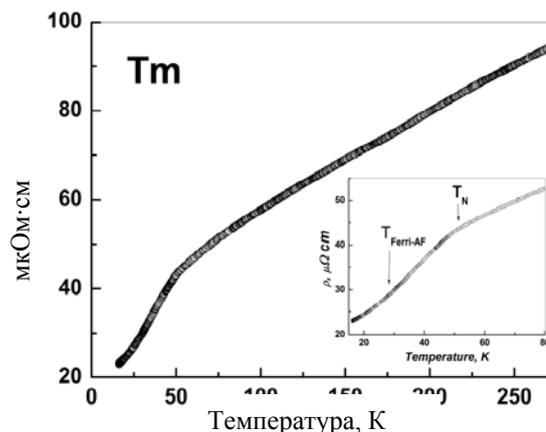


Рис. 1. Температурная зависимость удельного электросопротивления поликристаллического тулия. На врезке показан низкотемпературный участок кривой $\rho(T)$

На температурной зависимости электропроводности тулия наблюдаются аномалии – два хорошо выраженных перегиба: при ~30 К и при ~55 К. При более высоких температурах зависимость $\rho(T)$ носит практически линейный характер.

Очевидно, что для установления особенностей поведения температурной зависимости электропроводности в окрестности наблюдаемых аномалий целесообразно рассмотреть температурную зависимость логарифмической производной $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$ (рис. 2).

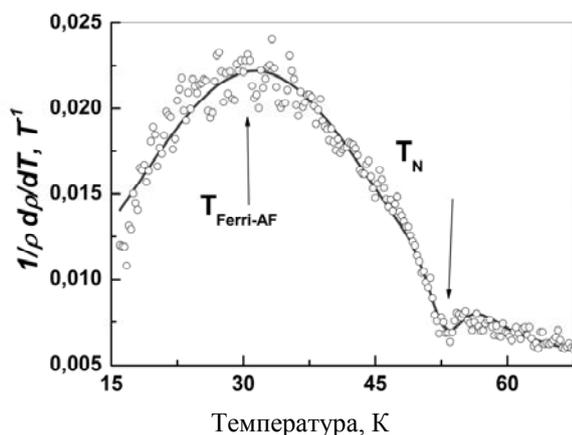


Рис. 2. Температурная зависимость логарифмической производной электропроводности $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$ для поликристаллического тулия при низких температурах

Как видно, характер поведения производной $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$ в окрестности аномалий существенно различен:

- при ~55 К - достаточно острый отрицательный “скачок”,
- при ~30 К - широкий положительный максимум.

Приведенные выше данные относительно зависимостей $\rho(T)$ и $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$ в окрестности температур фазовых переходов тулия дают все основания сделать следующие выводы.

ВЫВОДЫ

1. Переход парамагнетизм ↔ спиральный антиферромагнетизм в точке Нееля, T_N , является фазовым переходом второго рода. Наблюдаемая аномалия на зависимости $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$ подобна λ -аномалии вторых производных от термодинамических потенциалов, характерной для фазовых переходов второго рода [13].

2. Перегиб на зависимости $\rho(T)$ и широкий максимум на зависимости $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$ в окрестности

$T_{AF \leftrightarrow Ferri}$ свидетельствуют о том, что переход спиральный антиферромагнетизм ↔ коллинеарный ферромагнетизм является фазовым переходом первого рода. Наличие низкотемпературного фазового перехода первого рода в тулии открывает перспективы для создания эффективного термомагнитного генератора на основе этого редкоземельного металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.V. Derevyanko, V.A. Finkel. Magnetic contribution to electric resistance of gadolinium single crystal at low temperature // *Functional Materials*. 2004, v. 11, p. 30 – 34.
2. В.В. Деревянко, В.А. Финкель. Фазовая H-T-диаграмма поликристаллического тербия // *ФТТ*. 1985, т. 27, с. 2341–2345.
3. V.M. Arzhavtin, V.V. Derevyanko, T.V. Sukhareva, V.A. Finkel. Anomalies of kinetic, magnetic and relaxation properties of dysprosium in the region of helicoidal antiferromagnetic structure // *Functional Materials*. 2006, v. 13, p. 30 – 34.
4. W.C. Koehler, J.W. Cable, E.O. Wollan, M.K. Wilkinson. Magnetic structures of thulium // *Phys. Rev.* 1962, v. 126, p. 1672–1678.
5. T.O. Brun, S.K. Sinha, N. Wakabayashi, et al. Temperature dependence of the periodicity of the magnetic structure of thulium metal // *Phys. Rev. B*. 1970, v. 1, p. 1251–1253.
6. D.D. Davis, B.M. Bozorth. Magnetic properties of thulium metal // *Phys. Rev.* 1960, v. 118, p. 1543–1254.
7. M. Ellerby, K.A. McEwen, J. Jensen. Magnetoresistance and magnetization study of thulium // *Phys. Rev. B*. 1998, v. 57, p. 8416–8423.
8. L.R. Eswards, S. Legvold. Transport properties of thulium single crystals // *Phys. Rev.* 1976, v. 176, p. 753–60.
9. Š. Jánoš, A. Feher, J. Dudáš. The effect of magnetic structure on the electrical resistivity of thulium // *Czech. J. Phys. B*. 1987, v. 37, p. 5–10.
10. J. Dudáš, M. Guzan, S. Gabán, et al. Electrical charge transport anomalies in Ho and Tm thin films at low temperatures // *Czech. J. Phys.* 2004, v. 54, suppl. 4, p. 253–256.
11. Т.В. Сухарева, В.А. Финкель. Термомагнитное преобразование энергии: разработка физических основ и опытная реализация ТМГ на основе редкоземельного металла диспрозия // *ВАНТ. Серия ФРП и РМ*. 2009, № 2, с. 185–190.
12. В.В. Торяник, В.А. Финкель, В.В. Деревянко. Получение ВТСП-материалов с высокой степенью текстуры при помощи магнитной обработки порошков // *ФиХОМ*. 1995, в. 5, с. 55–60.
13. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Статистическая физика*. М: «Наука», 1976, 584 с.

Статья поступила в редакцию 09.10.2009 г.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРООПОРУ РІДКОЗЕМЕЛЬНОГО МЕТАЛУ ТУЛІУ ПРИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.В. Дерев'янку, В.А. Фінкель

Вивчено характер температурної залежності електроопору полікристалічних зразків рідкоземельного металу тулію в діапазоні температур $\sim 15 \dots 300$ К, що включає температури магнітних фазових переходів парамагнетизм \leftrightarrow спіральний антиферомагнетизм в точці Нееля, $T_N \sim 55$ К, і спіральний антиферомагнетизм \leftrightarrow колінеарний ферімагнетизм при $T_{AF \leftrightarrow Ferrim} \sim 30$ К. У T_N виявлені перегин на кривій температурній залежності питомого електроопору $\rho(T)$ і гострий мінімум на кривій $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$, характерний для фазових переходів другого роду. При $T_{AF \leftrightarrow Ferrim}$ виявлений широкий максимум на кривій температурній залежності логарифмічної похідної електроопору $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$, наявність якого дає підстави вважати, що магнітне перетворення у $T_{AF \leftrightarrow Ferrim}$ є фазовим переходом першого роду.

THE FEATURES OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE ELECTRORESISTANCE OF RARE-EARTH METAL THULIUM AT LOW TEMPERATURES

V.V. Derevyanko, V.O. Finkel

The aim of the work is the study of the character of temperature dependence of the electroresistance of polycrystalline specimens of rare-earth metal thulium in the range of temperatures $\sim 15 \dots 300$ K, including the temperatures of magnetic phases transitions “paramagnetism \leftrightarrow spiral antiferromagnetism” in the Néel point, $T_N \sim 55$ K, and “spiral antiferromagnetism \leftrightarrow colinear ferrimagnetism” at $T_{AF \leftrightarrow Ferrim} \sim 30$ K. In T_N discovered bend on the crooked temperature dependence of resistivity, $\rho(T)$, and sharp minimum on to the curve $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$, which is characteristic for the phases transitions of the second kind. At $T_{AF \leftrightarrow Ferrim}$ found out a wide maximum on the curve of the temperature dependence of logarithmic derivate of electroresistance $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}(T)$. The presence of the effect grounds to suppose that the magnetic transition at $T_{AF \leftrightarrow Ferrim}$ is the phase transition of the first kind.