

В. И. ЧЕЧЕРНИКОВ, Н. М. СПЕРАНСКИЙ, Н. И. МАЛЫШЕВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ТЕПЛОВЫЕ И НЕКОТОРЫЕ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ ФЕРРИТОВ

Проведено изучение удельного электросопротивления (ρ), коэффициента теплопроводности (λ) и некоторых магнитных свойств никель-кадмиевых ферритов при различных температурах. Исследования показали, что теплопроводность Ni—Cd ферритов в основном обеспечивается колебаниями решетки. Для всех ферритов вычислена энергия активации, которая, так же как коэффициент теплопроводности, зависит от концентрации ионов кадмия.

В настоящей статье изучается температурная зависимость удельного электросопротивления и коэффициента теплопроводности в широком температурном интервале, а также магнитные свойства никель-кадмиевых ферритов вблизи ферромагнитной точки Кюри. Образцы и данные их химического состава приведены в таблице.

Зависимость электросопротивления от температуры измерялась двухзондовым методом. Ферритовые образцы разрезались на прямоугольные параллелепипеды стальными лентами с помощью абразивного порошка из карбида бора, а затем шлифовались. Токоподводящие контакты впекались серебряной пастой при температуре 950°C . Исследование температурной зависимости электросопротивления проводилось в интервале $20\text{--}900^\circ\text{C}$, т. е. в ферро- и парамагнитной областях.

Результаты измерения показали (рис. 1), что у всех образцов имеются изломы на прямолинейной зависимости $\log \rho = f\left(\frac{1}{T}\right)$. При этом как

до, так и после изломов справедлив известный закон $\rho = Ae^{\frac{F}{kT}}$. Величина наклона этих прямых уменьшается с ростом концентрации ионов кадмия, что говорит об уменьшении энергии активации. Расчет показал, что энергия активации никель-кадмиевых ферритов уменьшается от $0,51\text{ эв}$ для образца № 1 до $0,16\text{ эв}$ для образцов № 6. Заметим также, что удельное электросопротивление при комнатной температуре соответствующих образцов уменьшается на два порядка: от $9 \cdot 10^5\text{ ом} \cdot \text{см}$ для образца № 1 и до $2,9 \cdot 10^3\text{ ом} \cdot \text{см}$ для образца № 6.

Из наших исследований следует, что в никель-кадмиевых ферритах удельное электросопротивление и энергия активации (см. таблицу и рис. 1) значительно меньше в образцах с большим содержанием CdO. Можно предположить, что увеличение числа ионов кадмия приводит к изменению постоянной решетки и к изменению расположения ионов в

подрешетке. Рентгеноструктурные исследования, которые будут опубликованы в следующей статье, подтверждают эту точку зрения. Постоянная решетки растет с увеличением ионов кадмия. При этом ионы кадмия, вероятно, располагаются так, что значительно облегчают электронные переходы типа $Fe^{3+} \rightleftharpoons Fe^{2+}$, вследствие чего уменьшается энергия активации и увеличивается электропроводность. Как видно из рис. 1, изломы на прямых $\log \rho = f\left(\frac{1}{T}\right)$ выявляются тем

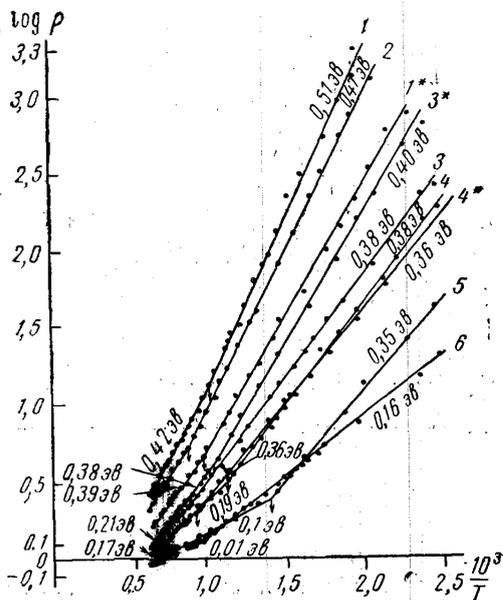


Рис. 1. Зависимость $\log \rho = f\left(\frac{1}{T}\right)$

резче, чем больше содержится в феррите ионов кадмия. Из расчета Ю. П. Ихрина и Е. А. Турова [1] следует, что величина этого излома зависит от обменного взаимодействия между внешними и внутренними электронами, при этом энергия активации зависит от величины самопроизвольной намагниченности. Наши результаты качественно согласуются с выводами этой работы.

Вторая часть работы посвящена исследованию температурной зависимости коэффициента теплопроводности в интервале температур от 20 до 500° С. Измерение λ проводилось на установке, описанной в работе [2]. На рис. 2 показана зависимость λ от T для девяти образцов никель-кадмиевых ферритов. Из рис. 2 видно, что коэффициент теплопроводности каждого образца является постоянной величиной. Это

$\lambda \cdot 10^{-3} \frac{\text{кал}}{\text{град см сек}}$

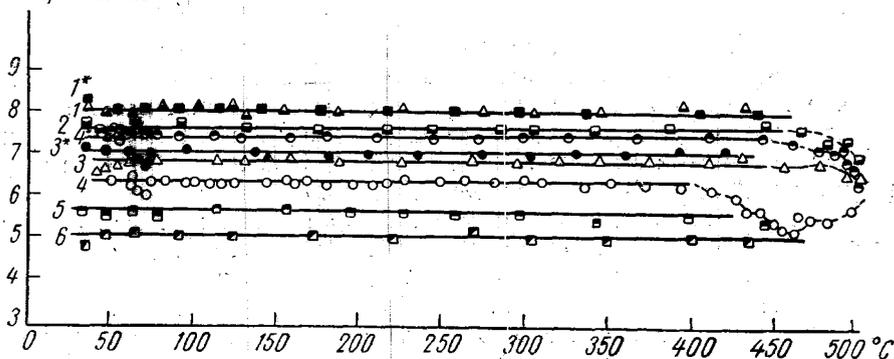


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности

Чтобы оценить долю электронной теплопроводности в общей теплопроводности ферритов, мы использовали известное соотношение Видемана-Франца. Оказалось, что для образца с минимальной электропроводностью при $T=773^\circ\text{K}$ подсчитанная нами электронная теплопроводность $\lambda_e \approx 10^{-6}$ кал/см·сек·град, а полная величина теплопроводности, определенная экспериментально — $\lambda = 5 \cdot 10^{-3}$ кал/см·сек·град. При 1150°K , т. е. при температурах выше ферромагнитной точки Кюри, $\lambda_e \approx 10^{-5}$ кал/см·сек·град, а $\lambda \approx 10^{-3}$ кал/см·сек·град, т. е. электронная доля теплопроводности при $T > \Theta_f$ возрастает на порядок и становится лишь на два порядка меньше величины наблюдаемой теплопроводности. Этот факт, по-видимому, связан с увеличением числа переходов $\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{F}^{2+}$. Теплопроводность в никель-кадмиевых ферритах уменьшается с возрастанием содержания ионов кадмия. По-видимому, это объясняется нарушением регулярности решетки за счет структурных искажений, возникающих с добавлением ионов кадмия, атомный радиус которых значительно больше атомных радиусов никеля и железа.

Исследование микроструктуры образцов показало, что теплопроводность Ni—Cd ферритов уменьшается с увеличением средних размеров зерен. Этим и объясняются одинаковые теплопроводности у образцов 1 и 1*, тогда как содержание CdO в них различно (см. таблицу).

Таблица

№ образца	Данные химического анализа (мол. %)			θ_f °C	Температура излома $\log \rho = f\left(\frac{1}{T}\right)^\circ\text{C}$	Средняя величина зерна в микронах, увеличение 450*	Микротвердость, кг/мм ²
	Fe ₂ O ₃	NiO	CdO				
1	57,7	39,4	2,9	440	457	180	1048
1*	68,6	22,2	9,2	290	487	40	1054
2	64,6	21,7	13,7	360	573	100	1120
3	63,5	18,9	17,6	300	427 597	120	1140
3*	56,8	32,1	11,1	300	441	300	1065
4	61,6	15,0	23,4	190	397	280	1160
4*	55,1	28,2	16,7	—	547	320	1100
5	57,3	16,7	26,0	—	257	330	1020
6	55,4	3,9	40,7	—	572	740	1100

Нами было также проведено исследование магнитной восприимчивости вблизи температуры Кюри. Исследования показали, что магнитная восприимчивость в интервале приблизительно 100—200°С в окрестности точки Кюри изменяется очень медленно, а при более высоких температурах это изменение становится более заметным.

Восприимчивость с увеличением температуры начинает быстро уменьшаться и при $T > \Theta_f$ подчиняется закону Нееля. Как показал эксперимент, магнитная восприимчивость вблизи ферромагнитной точки Кюри ($T \geq \Theta_f$) является функцией напряженности магнитного поля. Определенные методом термодинамических коэффициентов точки Кюри приведены в таблице. Сопоставление значений θ_f с температурами точек изломов (см. рис. 1) показывает, что эти изломы не всегда возникают в области ферромагнитного превращения.

Из полученных результатов видно, что электропроводность и теплопроводность в никель-кадмиевых так же как и никель-цинковых ферритах имеет одну и ту же природу.

Электропроводность в основном обусловлена электронными пере-

ходами между ионами железа, а теплопроводность колебаниями решетки. Что касается электронной доли теплопроводности, то она существенно увеличивается при переходе в парамагнитное состояние, причем в этой области температур уменьшается энергия активации. Большинство аномалий в температурном ходе $\rho(T)$ и $\lambda(T)$ не приходится на область ферромагнитного превращения. Наиболее ярко они выражены в области температур, расположенных вблизи парамагнитной точки Кюри, и, по-видимому, связаны с нарушением ближнего порядка.

В заключение авторы выражают признательность проф. Е. И. Кондорскому за ряд ценных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ирхин Ю. П., Туров Е. А. «Физика металлов и металловед», 4, вып. 1, 9, 1957.
2. Микрюков В. Е., Сперанский Н. М. «Инженерно-физический журнал», VI, 1962.

Поступила в редакцию
12. 5 1964 г.

Кафедра
магнетизма
