

## ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

К. П. БЕЛОВ, А. М. КАДОМЦЕВА, Т. Л. ОВЧИННИКОВА

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ОРТОФЕРРИТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ортоферриты редкоземельных элементов общей формулы  $MFeO_3$ , где  $M$  — ион редкоземельного элемента, имеют искаженную структуру перовскита. В ортоферриты входят только трехвалентные ионы железа, поэтому следует ожидать у них наличия высокого электросопротивления. Имеются работы [1], в которых показано, что можно уменьшить сопротивление поликристаллических образцов со структурой перовскита путем приготовления смешанных кристаллов  $La^{3+}Fe^{3+}O_3$  и  $Sr^{2+}Fe^{4+}O_3$ ,  $La^{3+}Mn^{3+}O_3$  и  $Sr^{2+}Mn^{4+}O_3$  и др. [1]. Уменьшение электросопротивления этих смешанных соединений происходит за счет появления различной валентности у ионов железа, занимающих эквивалентные кристаллографические места.

Данных об электрических свойствах «чистого»  $LaFeO_3$  и других ортоферритов редкоземельных элементов в литературе нет, так как предполагается, что они должны быть практически изоляторами.

Нами исследованы температурные зависимости электрического сопротивления поликристаллических образцов ортоферритов  $La$ ,  $Pr$ ,  $Nd$ ,  $Yb$  и некоторых составов, где часть ионов железа замещалась на другие трехвалентные ионы, а также монокристаллов ортоферрита  $YbFeO_3$ . Поликристаллические образцы изготавливались по обычной керамической технологии [2], монокристаллы были выращены Тимофеевой В. А. методом спонтанной кристаллизации из раствора [3]. Измерения электросопротивления проводились в вакууме на постоянном токе. Магнитные свойства ортоферритов редкоземельных элементов нами были исследованы ранее [2, 3].

На рис. 1 приведены кривые зависимости  $\log \rho \left( \frac{1}{T} \right)$  для поликристаллических образцов ортоферритов  $La$ ,  $Pr$ ,  $Nd$ ,  $Yb$ . Эти соединения имеют при комнатной температуре очень высокое значение электросопротивления (порядка  $10^{10}$  ом·см). С повышением температуры сопротивление падает по закону  $\rho = \rho_0 e^{\frac{E}{kT}}$ , где  $E$  — энергия активации. В ходе прямых  $\log \rho \left( \frac{1}{T} \right)$  для большинства исследованных нами поликристаллических образцов наблюдаются изломы. Для поликристаллических образцов  $NdFeO_3$  и  $YbFeO_3$  (рис. 1, кривые 2, 3) и  $LaAl_{0.2}Fe_{0.8}O_3$  (рис. 2, кривая 3) на графике температурной зависимости электросопротивления обнаруживаются максимумы и изломы.

Подобного рода аномалии сопротивления наблюдаются несколько ниже температуры Кюри и, вероятно, не связаны с магнитными переходами. Для проверки этого предположения были проведены измерения на составах, где часть ионов  $Fe^{3+}$  замещалась на немагнитные ионы  $Al^{3+}$  и  $Sc^{3+}$  (см. рис. 2).

Несмотря на то что точки Кюри этих составов отличаются более чем на  $100^\circ$ , температуры, при которых наблюдались изломы в электросопротивлении обоих образцов, практически совпадают и лежат ниже их точек Кюри.

При объяснении наблюдавшегося нами поведения электрических свойств поликристаллических ортоферритов необходимо учитывать, что электрическое сопротивление

их в значительной степени зависит от технологии приготовления, пористости, величины зерен и т. д. [4, 5]. Рентгеновские измерения [6] показали, что большинство исследованных нами поликристаллических образцов ортоферритов представляло собой пористые, мелкодисперсные материалы (наименьший размер зерен  $\sim 1000\text{Å}$ ).

Очевидно, что в этом случае на электросопротивление образца влияет как сопротивление самих зерен, так и прослоек между ними, которые, согласно [7], могут пред-

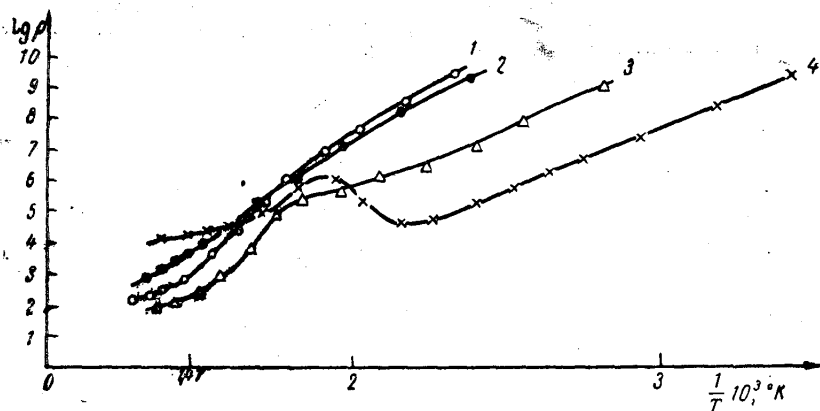


Рис. 1. Температурная зависимость электросопротивления поликристаллических образцов ортоферритов:

1 —  $\text{LaFeO}_3$ , 2 —  $\text{PrFeO}_3$ , 3 —  $\text{NdFeO}_3$ , 4 —  $\text{YbFeO}_3$

ставлять собой кристаллические неоднородности, окисленные поверхности зерен или же просто воздушные зазоры между зернами, обладающие достаточно высоким сопротивлением. Различная температурная зависимость электросопротивления зерен и поддерживающих слоев может привести к аномалиям в ходе кривых  $\log \rho \left( \frac{1}{T} \right)$ .

Чтобы проверить влияние величины зерен на электрические свойства поликристаллических образцов, была снята температурная зависимость сопротивления замещенного состава  $\text{LaCr}_{0,1}\text{Fe}_{0,9}\text{O}_3$ , размер зерен у которого, согласно рентгеновским данным, более чем на порядок превышал среднюю величину зерен у других поликристаллических образцов.

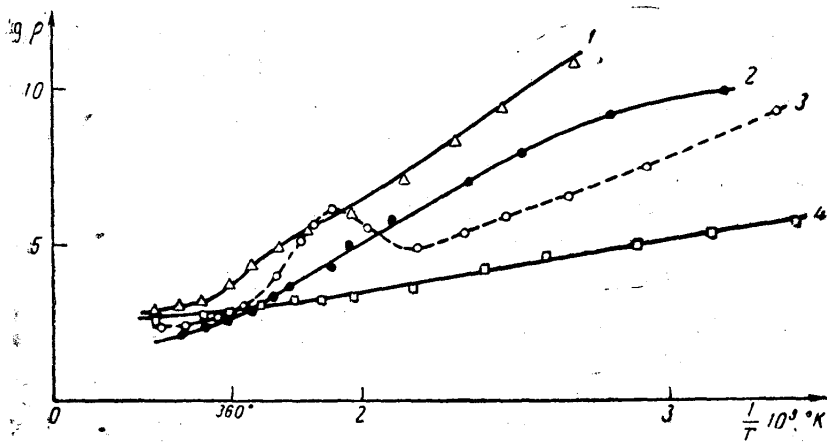


Рис. 2. Температурная зависимость электросопротивления поликристаллических образцов ортоферритов:

1 —  $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 0,1 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2 —  $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 0,1 \text{Sc}_2\text{O}_3 \cdot 0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  
3 —  $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 0,2 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,8 \text{Fe}_2\text{O}_3$ , 4 —  $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 0,1 \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 0,9 \text{Fe}_2\text{O}_3$

Электросопротивление этого состава и изменение энергии активации при температуре излома (рис. 2, кривая 4) оказалось значительно меньше, чем у всех других исследованных нами поликристаллических образцов. Таким образом, величина электро-

сопротивления поликристаллических образцов, измеренная на постоянном токе, в данном случае, очевидно, не характеризует свойств самого материала. Чтобы узнать истинную величину электросопротивления ортоферритов, мы провели измерения на нескольких монокристаллах ортоферрита Yb. Измерения показали, что сопротивление монокристаллов значительно ниже, чем у поликристаллов. Сам факт наличия сравнительно низкой величины электросопротивления у монокристаллов ортоферритов ( $\sim 10^4 - 10^5$  ом·см) является несколько неожиданным. Предполагалось, что они имеют тот же характер проводимости, что и ферриты со структурой граната, которые обладают чрезвычайно высоким сопротивлением [8].

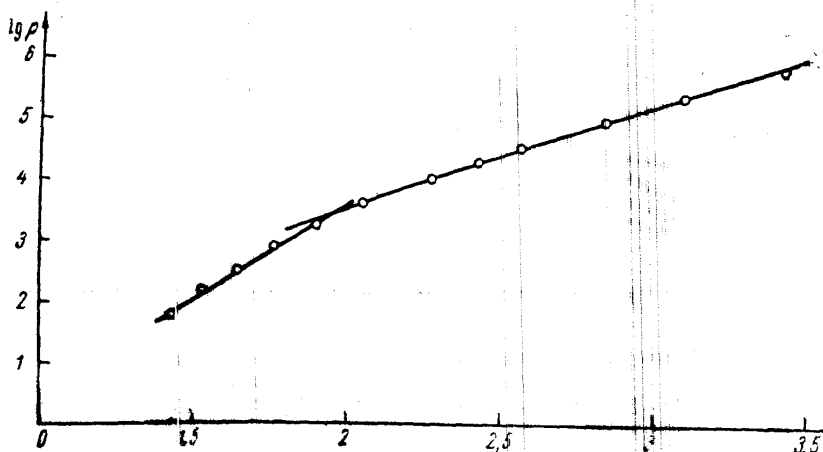


Рис. 3. Температурная зависимость электросопротивления монокристалла  $\text{YbFeO}_3$

Температурная зависимость электросопротивления моно- и поликристаллов Yb имеет различный характер. Так, температура излома прямых  $\lg \left( \frac{1}{\rho} \right)$  монокристаллических образцов (рис. 3) лежит ниже, чем у поликристаллических образцов, и изменение энергии активации при температуре излома имеет другой знак.

Наличие подобных изломов в температурном ходе электросопротивления, не связанных с магнитным упорядочением, возможно, обусловлено изменением подвижности носителей тока [9], однако для уверенной интерпретации полученных результатов необходимо располагать дополнительными экспериментальными данными.

Авторы выражают благодарность Зайцевой М. А. за получение поликристаллических образцов и обсуждение результатов измерения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Jonker J. H. *Physica*, **22**, No. 8, 707—722, 1956.
2. Белов К. П., Зайцева М. А., Кадомцева А. М. *ЖЭТФ*, **37**, вып. 4(10), 1160, 1959.
3. Белов К. П., Зайцева М. А., Кадомцева А. М., Тимофеева В. А. «Иzv. AN CCCP», сер. физическая, № 11, 1389, 1961.
4. Белов К. П., Попова А. А., Талалаева Е. В. «Кристаллография», **3**, вып. 6, 733, 1958.
5. Комар А. П., Ключин В. В. «Иzv. AN CCCP», сер. физическая, **18**, 400, 1954.
6. Белов К. П., Иверомова В. И., Зайцева М. А., Кадомцева А. М., Кацнельсон А. А., Яцкульяк К. «Физика твердого тела», **6**, вып. 1, 102, 1964.
7. Volger J. *Phys. Rev.*, **70**, 1023, 1950.
8. Van-Uitert L. G., Swanekamp F. W. *J. Appl. Phys.*, **28**, No. 12, 1513, 1957.
9. Свирина Е. П., Маликова О. А. «Вести Моск. ун-та», сер. физики, астрономии, № 6, 91, 1966.

Поступила в редакцию  
25. 6 1964 г.

Кафедра  
общей физики  
для биологов