

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

Е. П. СВИРИНА, О. А. МАЛИКОВА

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ В ФЕРРИТАХ

В настоящей работе изучалась природа проводимости в ферритах. Исследовались температурные изменения эффекта Холла, намагниченности и удельного электросопротивления монокристаллов марганцевых ферритов различного состава, а также кобальтового и никелевого ферритов, содержащих избыток ионов железа.

Кристаллы были выращены методом Вернейля [1] и имели форму параллелепипеда (30 мм × 6 мм × 3 мм). Намагниченность измерялась баллистическим методом, э.д.с. Холла и электросопротивление — с применением постоянного электрического тока. При низких температурах сопротивление образцов (10^7 — 10^{11} ом) было измерено с помощью разрядки конденсатора на гальванометр, работающий в баллистическом режиме [2].

Способ определения классической постоянной Холла R_0 в ферромагнетиках был описан в статье [3].

Спонтанная постоянная R_S определялась как отношение $\frac{E_S}{\sigma_S}$, где E_S и σ_S

есть спонтанные э.д.с. Холла и намагниченность (см. [3]).

Наши измерения эффекта Холла в ферритах показали, что магнитная постоянная R_S линейно зависит от удельного электросопротивления ρ (см. рис. 1).

Согласно теоретическим положениям, изложенным в работе [4], значения энергий активации ΔE , определенные из наклона прямых $\ln \rho \left(\frac{1}{T} \right)$ и $\ln R_S \left(\frac{1}{T} \right)$ для невырожденных полупроводников должны быть близкими. На рис. 2 представлены эти прямые для одного из монокристаллов феррита марганца $Mn_{1,16}Fe_{1,84}O_4$ с числом носителей 10^{18} см^{-3} . Разница в наклоне прямых рис. 2 может быть объяснена изменением подвижности носителей тока с температурой (см. соотношение (12) работы [4]).

Малая величина подвижности и ее падение с ростом температуры (см. рис. 2 работы [5]) дают основание считать, что движение носителей тока в марганцевых ферритах осуществляется в узкой зоне [6, 7], а не в процессе активизированной диффузии по локальным уровням [8].

Учитывая сказанное, исследованные нами ферриты следует отнести к классу примесных полупроводников, роль примесей в которых могут играть, например, ионы переменной валентности. С целью изменения концентрации примеси ионов двухвалентного железа Fe^{+2} один из монокристаллов марганцевого феррита подвергался отжигам в вакууме и в атмосфере воздуха. Наши исследования показали, что наличие ионов Fe^{+2} приводит к уменьшению энергии активации до значений, близких к энергии активации, определенной по температурному ходу электросопротивления в магнетите. Отжиг в атмосфере воздуха уменьшает число примесных ионов Fe^{+2} и соответственно приводит к увеличению электросопротивления и энергии активации (см. рис. 1 работы [2]).

Влияние термообработки особенно заметно на ферритах с избытком ионов Fe. Отжиг в вакууме ферритов с избытком ионов железа ($Mn_{0,87}Fe_{2,13}O_4$; $Ni_{0,58}Fe_{2,42}O_4$; $Co_{0,94}Fe_{2,06}O_4$) увеличивает концентрацию Fe^{+2} и заметно уменьшает вели-

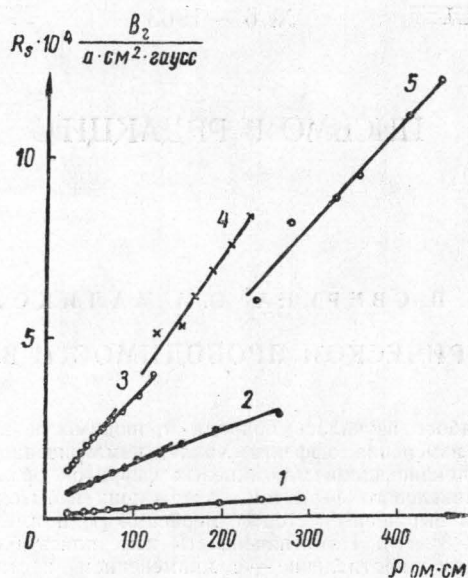


Рис. 1. Зависимость магнитной постоянной Холла R_S от удельного электросопротивления ρ для монокристаллов марганцевых ферритов различного состава:

- 1 — $Mn_{1,03}Fe_{1,97}O_4$, 2 — $Mn_{1,06}Fe_{1,94}O_4$,
 3 — $Mn_{1,16}Fe_{1,81}O_4$, 4 — $Mn_{1,28}Fe_{1,72}O_4$,
 5 — $Mn_{1,36}Fe_{1,61}O_4$

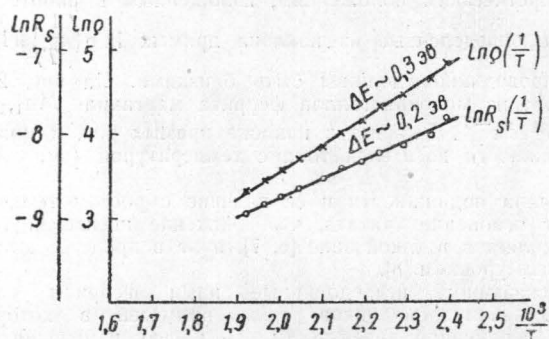


Рис. 2. Зависимость $\ln \rho$ от $\frac{1}{T}$ и $\ln R_S$ от $\frac{1}{T}$ для монокристалла феррита марганца $Mn_{1,16}Fe_{1,84}O_4$

чину энергии активации носителей электричества. В этом случае нельзя пренебрегать изменениями подвижности с температурой, так как температурное изменение электропроводности за счет изменения числа носителей может оказаться сравнимым с изменением ее за счет подвижности.

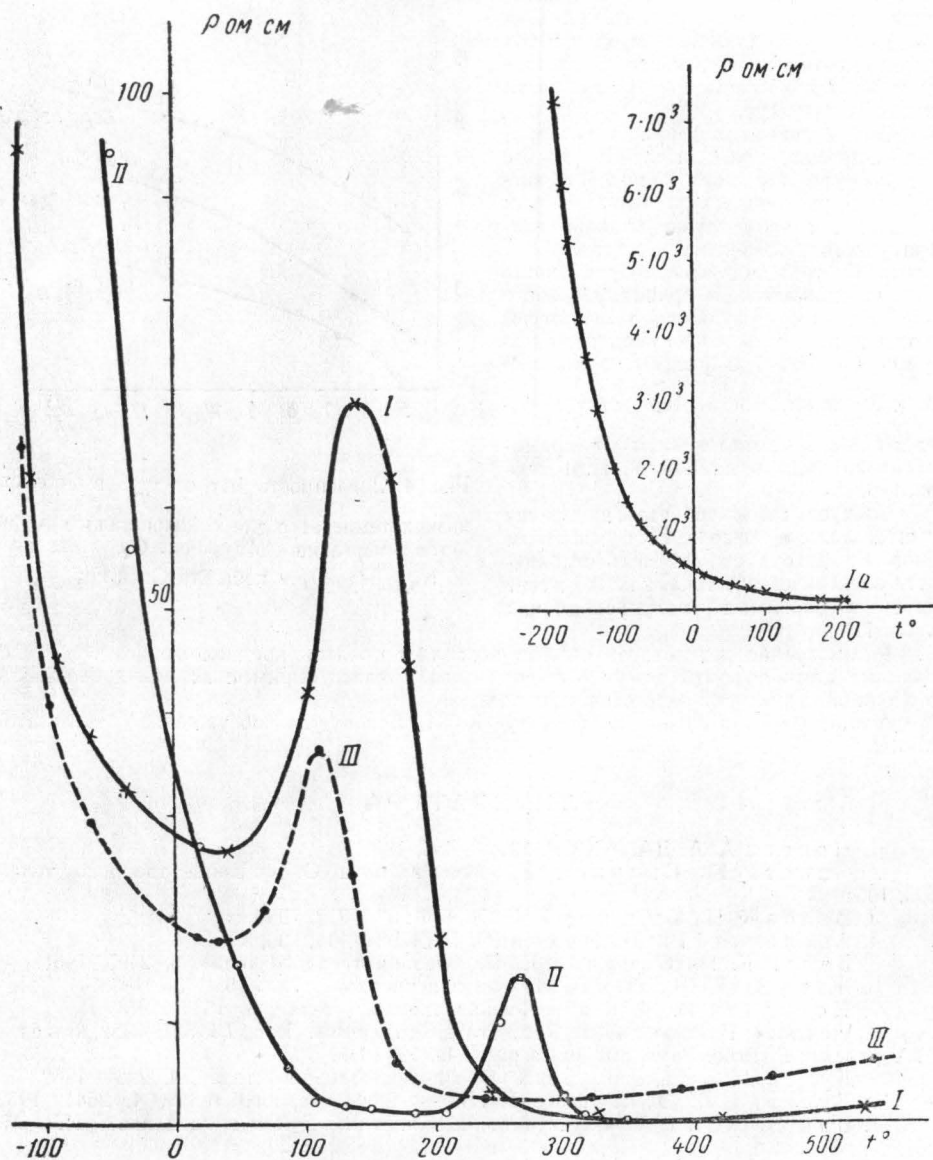


Рис. 3. Температурная зависимость электросопротивления монокристаллов феррита марганца I — $Mn_{0,87}Fe_{2,13}O_4$, II — феррита никеля $Ni_{0,58}Fe_{2,42}O_4$, III — феррита кобальта $Co_{0,94}Fe_{2,06}O_4$ после отжига в вакууме в течение 5 часов при 1000° .

При малых значениях энергии активации электронов проводимости электросопротивление может сложным образом зависеть от температуры. На рис. 3. представлена эта зависимость. Наличие минимума и слабый рост сопротивления могут быть обязаны большему влиянию подвижности на электропроводность по сравнению с влиянием изменения числа носителей тока (при малом ΔE) в данном интервале

температур. Наличие максимума, возможно, связано с преобладающим влиянием примесей другого типа, например, ионов Mn или Ni, или железа другой валентности, отличной от 2 (изменение энергии активации носителей электричества в зависимости от концентрации примеси Mn дано в работе [5]). В области низких температур ферриты с избытком ионов Fe^{+2} имеют почти одинаковые значения энергии активации, мало отличающиеся от энергии активации в магнетите (см. рис. 4).

Последнее указывает на один и тот же механизм проводимости в ферритах с избытком ионов Fe^{+2} в области низких температур.

Обогащение этих ферритов кислородом, например, при длительном отжиге в атмосфере воздуха, уменьшает число Fe^{+2} и увеличивает значение энергии активации. В этом случае влияние температурного изменения подвижности носителей тока на электропроводность заметно снижается, и кривая удельного сопротивления в функции температуры может и не иметь минимумов и максимумов (кривая 1 а рис. 3), в то время

как зависимость $\ln \rho$ от $\frac{1}{T}$ будет отличаться отклонением от прямолинейного хода в данной области температур.

Следует отметить, что измерение э.д.с. Холла в ферритах с избытком ионов Fe затруднено из-за нестабильности электрического тока, как это имеет место в обычных полупроводниках [9, 10, 11].

Рассмотрение результатов опытов позволяет сделать предположение, что исследованные нами ферриты могут быть отнесены к классу примесных полупроводников со сложной структурой энергетических зон.

Авторы признательны профессору К. П. Белову за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попова А. А. ДАН СССР, 121, 3, 453, 1958.
2. Завета К., Свирина Е., Маликова О. «Физика твердого тела», 3593, 1962.
3. Белов К. П., Свирина Е. П. ЖЭТФ, 37, 1212, 1959.
4. Абельский Ш. Ш., Ирхин Ю. П. ЖЭТФ, 44, 230, 1963.
5. Белов К. П., Свирина Е. П. «Физика твердого тела», 3, 2495, 1961.
6. Жузе В. П., Шельх А. И. «Физика твердого тела», 5, 1756, 1963.
7. Ксендзов Я. М. и др. «Физика твердого тела», 5, 1537, 1963.
8. Verwey E., Voeg J. de Res., Trav. Chim. Phys. Vos., 55, 531, 1952; Voeg J. de, Verwey E. Proc. Phys. Soc. extra part., 49, 59, 1937.
9. Гуревич Л. Э., Иоффе И. В. «Физика твердого тела», 4, 2964, 1962.
10. Гуревич Л. Э., Иоффе И. В. «Физика твердого тела», 4, 2641, 1962.
11. Ван дер Зил А. Флуктуационные явления в полупроводниках. ИЛ, М., 1961.

Поступила в редакцию
7. 6 1963 г.

Кафедра
общей физики для биологов

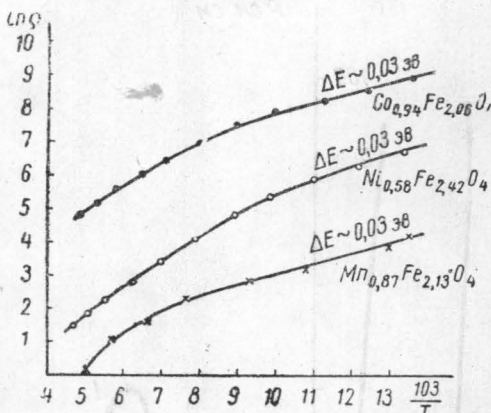


Рис. 4. Зависимость $\ln \rho$ от $\frac{1}{T}$ в области низких температур для монокристаллов ферритов марганца $Mn_{0,87}Fe_{2,13}O_4$, никеля $Ni_{0,58}Fe_{2,42}O_4$ и кобальта $Co_{0,94}Fe_{2,06}O_4$