

ВОЛНА ЗАРЯДОВОЙ ПЛОТНОСТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОДНОМЕРНОГО ПРОВОДНИКА $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ ТИПА β

А. В. Дмитриев, Н. А. Журавлев, В. Л. Волков

Проводящие соединения со слоистой и цепочечной структурой проявляют фазовые переходы (ФП), связанные с образованием волн зарядовой плотности (ВЗП). Основное состояние характеризуется одночастичной щелью на поверхности Ферми и образованием периодического искажения решетки, называемым ВЗП. Одним из представителей такого класса соединений является одномерный проводник $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ типа β [1], структура которого подробно описана в [2]. В данном соединении методом диффузного рассеяния рентгеновских лучей обнаружено смещение атомов ванадия вдоль высокопроводящей кристаллической оси b при температуре ниже 200 К [3], где период решетки становится равным $2b$. В [4] методами ЭПР и ЯМР ^{51}V показано, что данный ФП сопровождается появлением щели на уровне Ферми. Все эти результаты позволяют связать наблюдающийся ФП с образованием ВЗП с периодом, равным $2b$. Фрелихом было отмечено, что в отсутствие пиннирующих сил энергии ВЗП не зависит от фазы, поэтому ВЗП может двигаться через решетку в коллективном ВЗП-транспорте. До сих пор результаты электрофизических измерений интерпретировались

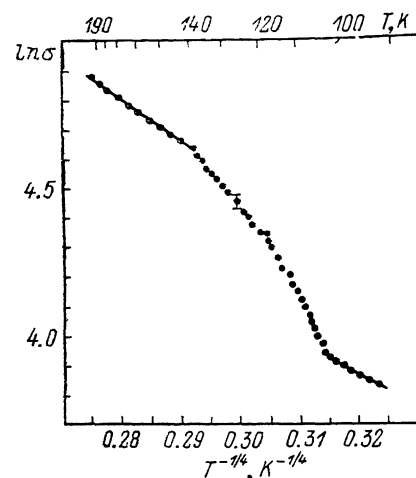


Рис. 1. Температурная зависимость удельной проводимости $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ типа β .

в рамках одночастичного подхода — в приближении полярона малого радиуса [1] либо в приближении биполяронов [5]. В работе [5] отмечены трудности одночастичного подхода и высказано предположение о наличии коллективных эффектов. Доказательством наличия коллективной моды проводимости могут служить нелинейности вольт-амперных характеристик (ВАХ). Однако данные о таких измерениях в литературе отсутствуют.

В настоящей работе представлены результаты исследованных ВАХ и температурной зависимости проводимости $\sigma(T)$, измеренных на постоянном токе в области температур 77—300 К. В экспериментах использовали монокристалл $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$, вытянутый вдоль оси b с размерами $10 \times 1 \times 0.4$ мм. Измерения проводили вдоль высокопроводящего направления, совпадающего с осью b , вольтметрами В7-34А. Показания вольтметров фиксировались автоматически КАМАК-процессором типа 180А. Развертку тока осуществляли генератором инфранизких частот Г6-15 с периодом развертки 0.001 Гц. Для крепления контактов использовали диффузионно-твердеющий припой на основе индий-галлиевого сплава.

Исследование ВАХ, полученных при различных температурах, позволило установить, что при $T < 200$ К наблюдаются отклонения от линейности для электрических полей более 10 В/м. Температурная зависимость удельной проводимости (рис. 1), измеренная в малых электрических полях, в области температур выше 140 К и ниже 110 К, с хорошей точностью описывается законом

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp\left(-\left(T_0/T\right)^{1/4}\right) \quad (1)$$

с $T_0=46\ 771.1$ К при $T > 140$ К и $T_0=18\ 150.1$ К при $T < 110$ К. Сложная зависимость проводимости в интервале температур 110–140 К, по нашему мнению, связана с изменением числа носителей.

Тот факт, что температурная зависимость проводимости подчиняется закону $T^{-1/2}$, свидетельствует о трехмерном характере движения электронов, несмотря на большую величину анизотропии проводимости [1, 5]. Используя значения плотности состояний на уровне Ферми, полученные в [4] (0.81 ед./эВ·атом при T выше температуры ФП и 0.46 ед./эВ·атом при 100 К), можно провести оценки радиуса локализации R_L . Он входит в качестве параметра в описание локализованной волновой функции e^{-R/R_L} и показывает, на каком расстоянии амплитуда волновой функции уменьшается в e раз. Согласно работам Мотта, $T \ll T_0=6(4/R_L)^3/N(E_F)$ (для трехмерного характера движения электронов). Зная плотность со-

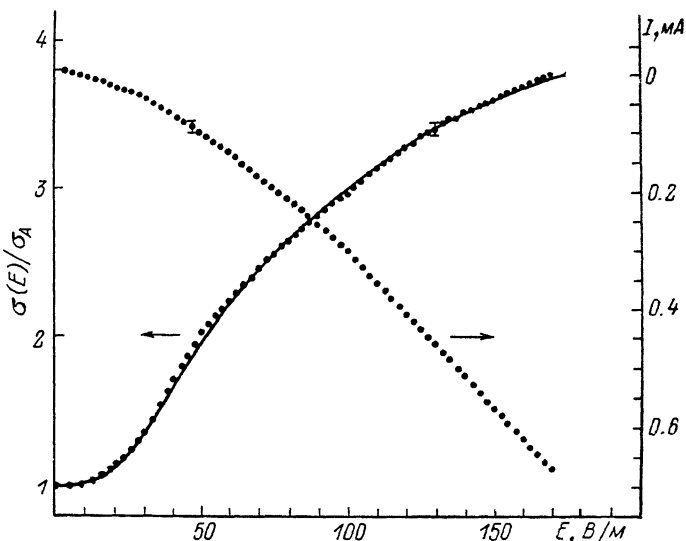


Рис. 2. ВАХ и полевая зависимость нормированной дифференциальной проводимости $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ при 77 К.

Сплошная линия — теоретическая зависимость $\sigma/\sigma_A(E)$ с $E_\gamma=0.312$, $E_0=73.921$ В/м, $\sigma_B/\sigma_A=4.274$ и $\sigma_A=2.6$ (Ом·м) $^{-1}$.

стояний $N(E_F)$, получаем в области высоких температур $R_L=25$ Å, что составляет вдоль оси b около 7 периодов решетки. Понижение температуры до 100 К приводит к уменьшению T_0 и $N(E_F)$. В результате область локализации сужается до 6 Å, около 2 периодов решетки.

На рис. 2 представлены ВАХ и полевая зависимость дифференциальной относительной проводимости $\sigma(E)$. Установлено, что в пределах точности измерений $\sigma(E)$ описывается выражением

$$\sigma(E) = \sigma_A + \sigma_B(1 - E_\gamma/E) \exp(-E_0/(E - E_\gamma)), \quad (2)$$

где σ_A — проводимость в нулевом поле; E_γ — энергия пиннинга, которая в случае соразмерной ВЗП определяется дефектностью образца. В [4] показано, что изменение содержания ионов натрия в бронзе $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ приводит к появлению беспорядка в распределении электронной плотности по кристаллу. Поэтому для рассматриваемого соединения дефектностью можно считать отклонение от состава $\text{Na}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ по натрию. Малая величина критического поля, требуемая для появления нелинейности на ВАХ, указывает на проявление механизма коллективного транспорта. Так как энергия, передаваемая электрическим полем на расстояние l , может быть больше kT , соотношение $eEl > kT$ приводит к $l > 10^4$ постоянной решетки. Нужно заметить, что интерпретация в модели одно-

частичного туннелирования дает щель порядка 10^{-2} К, что много меньше kT .

Таким образом, данные электрофизических измерений не противоречат модели образования ВЗП. Полученные ВАХ указывают на наличие коллективных эффектов в электронном транспорте, связанных с движением волны зарядовой плотности. Определены области локализации электронов до и после перехода. Полупроводниковый характер проводимости и большая величина области локализации электронов при высоких температурах позволяют отнести это соединение к металлам с сильным электрон-фононным взаимодействием [6].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Фотиев А. А., Волков В. Л., Капусткин В. К. Оксидные ванадиевые бронзы. М.: Наука, 1978. 175 с.
- [2] Wadsley A. D. // Acta Cryst. 1955. N 8. P. 695—700.
- [3] Kanai Y., Kagoshima S., Nagasawa H. // Syntetic Metals. 1984. N 9. P. 369—379.
- [4] Дмитриев А. В., Панченко В. Л., Золотухина Л. В., Новак П. Я. // ФТТ. 1987. Т. 29. N 11. С. 3381—3384.
- [5] Onoda M., Nagasawa H. // J. Phys. Soc. Jap. 1983. V. 52. N 6. P. 2231—2237.
- [6] Gogolin A. A. // Phys. Reports. 1982. N 1. P. 1—53.

Институт химии УрО АН СССР
Свердловск

Поступило в Редакцию
27 марта 1990 г.

УДК 538.975+537.543.9

© Физика твердого тела, том 32, № 11, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 11, 1990

СТРУКТУРНОЕ И МАГНИТНОЕ РАЗУПОРЯДОЧЕНИЕ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ ФТОРА

*Б. К. Остафийчук, В. Д. Федорив, В. А. Олейник,
Е. И. Зубко, О. Н. Ворончак*

В результате ионной имплантации (ИИ) в приповерхностном слое феррит-гранатовой пленки (ФГП) происходят нарушение кристаллической структуры, изменение стехиометрии и химической связи [1], что в итоге влияет на электромагнитные параметры не только имплантированного слоя, но и пленки в целом. Характер и величина указанных изменений существенным образом зависят от энергии, дозы и типа внедренных ионов.

Для изыскания возможности целенаправленной модификации физико-химических свойств приповерхностных слоев ФГП были проведены комплексные исследования влияния дозы имплантированных ионов фтора на кристаллическую и магнитную микроструктуры. ФГП толщиной 3.5 мкм были выращены методом жидкофазной эпитаксии на монокристалле $Gd_3Ga_5O_{12}$ с кристаллографической плоскостью среза [111]. Образцы, вырезанные из одной ФГП состава $Y_{1.76}Lu_{0.25}Sm_{0.17}Ca_{0.78}Pb_{0.04} \times \times Fe_{4.24}Ge_{0.76}O_{12}$, имплантировались ионами фтора с энергиями 95 кэВ в пределах доз $2 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{15}$ см⁻² на установке типа «Везувий» при комнатной температуре в геометрии, исключающей каналирование. Наличие свинца обусловлено его технологически неконтролируемым вхождением в матрицу пленки во время жидкофазной эпитаксии. Методики получения и обработки рентгеновских дифракционных и мессбауэровских конверсионных спектров, а также спектров резерфордского обратного рассеивания (РОР) ионов описаны в работах [2, 3] соответственно.

Рентгеноструктурные измерения показали, что постоянная решетки исходной пленки равна $a = 12.3729$ Å. После ИИ фтором постоянная решетки в имплантированном слое возрастает и ее максимальное увеличение