

10. Rinker G. A., Wilets L. // Phys. Rev.— 1973.— V. 7D.— P. 2629.
11. Банд И. М. и др. Аномалии в КВК γ -лучей.— М., 1976.
12. Слив Л. А., Волчок Б. А. Таблицы кулоновских фаз и амплитуд с учетом конечных размеров ядра.— М., 1956.
13. Карпешин Ф. Ф. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ.— 1976.— Т. 40.— С. 1164.
14. Ахнезер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика.— М., 1959.

Поступила в редакцию 05.04.85.

УДК 534.2.22; 539.893

Е. М. ГОЛОЛОВОВ, Е. Л. МАГЕР,
З. В. МЕЖЕВИЧ, В. Г. РУДЬ

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ ВАНАДИЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В связи с аномалиями температурной зависимости электросопротивления, термо-э. д. с., теплоемкости, упругих постоянных, коэффициента линейного расширения ванадия [1] проводятся интенсивные исследования его физических свойств.

При изучении упругих свойств ванадия [2] обнаружены аномалии в ходе температурной зависимости упругих постоянных C' , C_{44} . В работе [3] установлено, что в монокристаллических образцах ванадия скорость распространения поперечных колебаний в области низких температур аномально уменьшается с увеличением давления. Аномалия в виде пика наблюдается и на температурной зависимости теплоемкости [4].

Представляло интерес исследовать влияние гидростатического давления на электросопротивление ванадия при низких температурах, ибо такие измерения почти не проводились.

Образцы ванадия в виде параллелепипедов длиной 20 мм и сечением $0,3 \times 0,3$ мм вырезали из монокристаллического слитка электроискровым способом. Использовался зонноочищенный ванадий с содержанием примесей в ат. %: О — 0,02; N — 0,01; H — 0,061; металлических примесей 0,03. Отношение $R_{300\text{ К}}/R_0\text{ К} = 30$.

Электросопротивление измеряли четырехточечным зондовым методом. Контакты из серебряной проволоки диаметром 0,2 мм приваривали с помощью разряда конденсатора емкостью 22000 мкФ, заряженного до напряжения 20 В. К механической прочности электроконтактов предъявлялись повышенные требования, так как при затвердевании передающей давление среды (газообразный гелий) может произойти обрыв токовых и потенциальных проводов.

Источником постоянного тока служила батарея аккумуляторов напряжением 12 В, разряженная до $2/3$ первоначальной емкости, что обеспечивало постоянство напряжения при измерении электросопротивления. Стабильность тока поддерживалась стабилизатором на операционном усилителе. Выбор рабочего тока был обусловлен следующими обстоятельствами: во-первых, при низких температурах сопротивление ванадия мало ($\sim 10^{-4}$ Ом), поэтому, чтобы падение напряжения на образце было достаточно большим, необходимо пропускать ток порядка нескольких ампер, но при этом происходит разогрев образца, расположенного в камере высокого давления, причем неодинаковый при различных давлениях. Учесть процессы теплопередачи не представляется возможным, однако было установлено, что при токе менее 200 мА сопротивление образца остается постоянным, т. е. разогрев незначителен. Рабочий ток был выбран равным 116 мА.

Давление до $15 \cdot 10^8$ Па создавалось газовым генератором [5]. Барические зависимости электросопротивления измеряли при трех фиксированных температурах: тающего льда, жидкого азота и гелия. С изменением

давления меняется температура исследуемого образца. Для установления температурного равновесия производилась выдержка около 0,5 ч после фиксирования давления.

Образцы помещали в камеру высокого давления, которая соединялась капилляром с газовым генератором. Для обеспечения гидростатичности в широком диапазоне температур в качестве среды, передающей давление, использовался газообразный гелий, что позволяет существенно расширить область исследований в сторону более низких температур. Камера высокого давления трехслойная и состоит из внутреннего конуса, внешней поддержки и кожуха. Уплотнение штуцера соединительного капилляра и obtюратора выполнено набором колец из бериллиевой бронзы и фторопласта. Камера размещалась в металлическом криостате [6], позволяющем проводить исследования вплоть до гелиевых температур. В качестве чувствительного элемента в датчике уровня жидкого гелия использовалась проволока с большим удельным сопротивлением и температурой сверхпроводящего перехода $T \sim 4,2$ К. Датчик позволяет фиксировать положение уровня жидкого гелия с точностью ± 1 мм.

Давление в камере измерялось манганиновым датчиком [7]. Сопротивление манганиновой проволоки изменяется одинаково при повышении и понижении температуры, т. е. гистерезис отсутствует. Манганин вплоть до 20 К обладает незначительным температурным коэффициентом сопротивления. Барическая зависимость сопротивления манганина носит линейный характер, причем изменение температуры параллельно сдвигает ход этих зависимостей.

Температура исследуемого материала контролировалась $\text{Au} + 0,07 \text{ ат. \% Fe—Cu}$ термпарой с высокой чувствительностью при гелиевых температурах и хорошей стабильностью в широком диапазоне температур. Для обеспечения в процессе измерения постоянства установленной температуры и возможности ее перестройки в заданном диапазоне применялась система регулирования и стабилизации температуры. Система термостабилизации состоит из термодатчика, усилителя и исполнительного элемента. В качестве термодатчика использовали сопротивление фирмы Аллен-Бредли.

На рис. 1 показана температурная зависимость электросопротивления ванадия под давлением 0,8 ГПа и при нормальном давлении. На зависимости $R(T)$ при нормальном давлении в области температур 230—240 К наблюдается изменение хода кривой, сходное с тем, что отмечалось в работах [1, 8] и которое объясняется характером и концентрацией примесей в ванадии. Давление 0,8 ГПа приводит к уменьшению электросопротивления

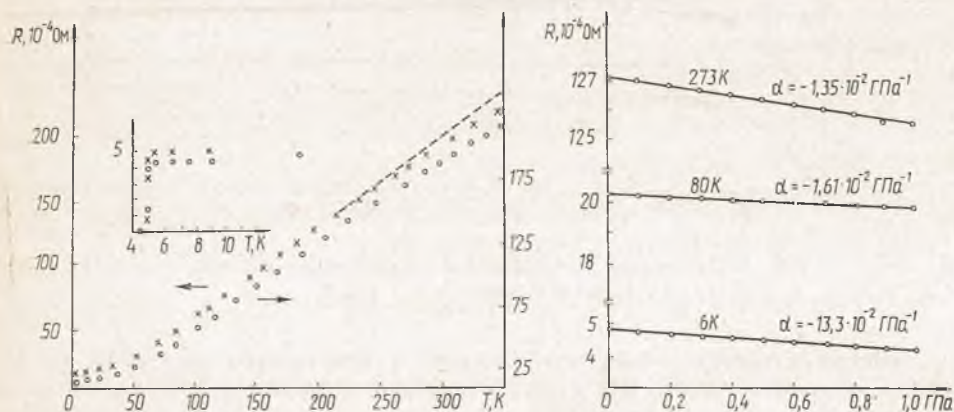


Рис. 1. Температурная зависимость электросопротивления ванадия при фиксированном давлении:

× — нормальное давление; ○ — $P = 0,8$ ГПа

Рис. 2. Зависимость электросопротивления ванадия от давления при различных температурах

тивления ванадия во всем исследованном температурном интервале 4,2 — 350 К и к тенденции смещения излома на кривой в область более низких температур с увеличением давления, что аналогично наблюдаемому при исследовании влияния давления на электросопротивление ванадия в жидкостной камере высокого давления в интервале температур 200—270 К [9].

На рис. 2 приведена барическая зависимость электросопротивления ванадия при 6, 80, 273 К под давлением до 1 ГПа. С повышением давления сопротивление уменьшается. Барические коэффициенты электросопротивления $\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta p}$ при указанных температурах: $-13,3 \cdot 10^{-2}$; $-1,61 \cdot 10^{-2}$; $-1,35 \cdot 10^{-2}$ ГПа $^{-1}$.

Следуя Маттисену, удельное электросопротивление металлов можно записать в виде: $\rho = \rho_0 + \rho_i(T) \approx \rho_0 + \rho_i(T/\Theta)$, где ρ_0 — остаточное сопротивление; ρ_i — идеальное сопротивление, зависящее от температуры. Зависимость идеального электросопротивления от давления может быть объяснена, если рассматривать изменение с давлением характеристической температуры Дебая Θ . Так как Θ обычно увеличивается с давлением, то ρ_i будет соответственно уменьшаться. Обычно для чистых металлов повышение давления оказывает на остаточное сопротивление обратный эффект, т. е. оно возрастает с давлением. Таким образом, для температур, при которых слагаемое ρ_i является доминирующим, следует ожидать уменьшения электросопротивления с увеличением давления.

Нами экспериментально установлено, что для ванадия увеличение давления ведет к понижению электросопротивления. Барические коэффициенты остаются отрицательными во всей исследуемой области температур, что характерно для сверхпроводников. Незначительно изменяются коэффициенты α от комнатной до азотных температур: возрастают по модулю с сохранением знака. В районе гелиевых температур увеличение по модулю значительно, т. е. давление существенно понижает электросопротивление.



Рис. 3. Барические коэффициенты электросопротивления:
1 — настоящая работа; 2, 3, 4 — [10]

Зависимость барических коэффициентов электросопротивления ванадия, а также Au, Sn, In [10] показана на рис. 3 (кривые 2, 3, 4). Можно отметить корреляцию между положительным знаком $\partial R/\partial p$ для несверхпроводников и отрицательным знаком соответствующей величины для металлов, которые становятся сверхпроводниками при низких температурах. Для несверхпроводников с ростом давления сопротивление при гелиевых температурах повышается, для большинства сверхпроводников, в том числе ванадия, понижается.

Список литературы

1. Пан В. М., Прохоров В. Г., Шевченко А. Д., Довгопол В. П. // ФНТ.— 1977.— Т. 3.— № 10.— С. 1266.
2. Межевич З. В. // Тез. докл. 7-й Республ. конференции молодых ученых по физике, посвященной 60-летию образования СССР.— Минск.— 1982.— С. 201.
3. Магер Е. Л., Межевич З. В. // Материалы Республ. конференции молодых ученых: Физика, технология и производство полупроводниковых приборов.— Вильнюс.— 1984, 17—18 апреля.— С. 63.
4. Гололобов Е. М., Магер Е. Л., Межевич З. В., Томило Ж. М. // Тез. докл. IV Всесоюз. конференции: Гидростатическая обработка материалов.— Донецк.— 1985, 10—12 сентября.— С. 35.
5. Гололобов Е. М., Добрянский В. М., Магер Е. Л., Межевич З. В. // Тез. докл. Международного симпозиума: Прочность материалов и элементов конструкций при звуковых и ультразвуковых частотах нагружения.— Киев.— 1984, 25—28 сентября.— С. 157.
6. Добрянский В. М., Короткая З. В., Рудь В. Г., Чижик А. И. // ПТЭ.— 1975.— № 6.— С. 230.
7. Добрянский В. М., Короткая З. В., Рудь В. Г., Чижик А. И. // Науч. труды МГПИ имени А. М. Горького: Структура и свойства сегнетоэлектриков.— Минск.— 1975.— С. 78.
8. Финкель В. А., Гламазда В. И., Ковтун Г. П.— ЖЭТФ.— 1969.— Т. 57.— Вып. 4 (10).— С. 1065.
9. Suzuki Haruhiko Minomura Shigeru, Miyahara Shohei // J. Phys. Soc. Japan.— 1966.— V. 21.— № 10.— P. 2089.
10. Goree W. S., Scott T. A. // J. Phys. and Chem. Sol.— 1966.— V. 27.— № 5.— P. 835.

Поступила в редакцию 15.05.85.

УДК 538.21:537.226.1

А. В. ЛЕОНТЬЕВ, М. И. ДАНИЛЬКЕВИЧ

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ ЛИТИЕВЫХ ФЕРРИТОВ-ГАЛЛАТОВ

Диаманитно разбавленные ферриты, в том числе на основе $\text{Li}_{0,5}\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$, применяются в качестве магнитомягких материалов. В некоторых случаях существенным параметром, определяющим характеристики ферритовых магнитных элементов, наряду с магнитной является и диэлектрическая проницаемость ϵ . Однако систематических данных о влиянии замещения магнитных ионов Fe^{3+} диаманитными на величину ϵ и на диэлектрические потери в литературе нет. В предлагаемой работе исследовались диэлектрические свойства системы $\text{Li}_{0,5}\text{Fe}_{2,5-x}\text{Ga}_x\text{O}_4$, синтезированной по обычной керамической технологии при x , меняющихся от 0 до 2,5 с шагом $\Delta x = 0,125$. В результате такой замены Fe^{3+} ионами Ga^{3+} в исследуемой системе имеем переход от сильномагнитной шпинели при $x=0$ к диаманитной при $x=2,5$. Это позволило выявить характер изменения диэлектрических свойств при магнитном разбавлении и связать его с числом магнитных связей в решетке.

Спектры $\epsilon'(\omega)$ и $\epsilon''(\omega)$ комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$ в диапазоне 30 Гц — 3 МГц получены из измеренного на импедансметре ВМ-507 модуля $Z = 1/\omega C$ комплексного сопротивления и угла сдвига фаз цилиндрических образцов с серебряными измерительными электродами. В диапазоне 3—210 МГц емкость и добротность образцов определены Q-метром ВМ-560. Из измеренных величин емкости $C_{\text{изм}}$ вычитались краевая емкость и емкость подводящих проводов. При частотах $\omega > 60$ МГц исключали паразитное влияние индуктивности L подводящих проводов [1] на истинные значения емкости $C_{\text{ист}}$:

$$C_{\text{ист}} = C_{\text{изм}} / (1 + \omega^2 L C_{\text{изм}}). \quad (1)$$

Во всем диапазоне частот условие квазистационарности измерительного конденсатора [1] ($R < 0,24\lambda/2\pi \sqrt{\epsilon}$, где R — радиус обкладок конденсатора, λ — длина электромагнитной волны, соответствующая частоте