

СКЕЙЛИНГОВЫЙ ПОДХОД К ПЕРЕХОДУ ДИЭЛЕКТРИК–МЕТАЛЛ В ГЕРМАНИИ, "ЛЕГИРОВАННОМ" РАДИАЦИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

The dielectric – metal transition in germanium disordered by large doses of the fast reactor neutrons has been studied.

Проблема перехода металл – диэлектрик является одной из актуальных и фундаментальных проблем физики неупорядоченных систем, которая стала одним из важнейших направлений развития современной физики конденсированного состояния [1].

В последнее время интенсивно развивается скейлинговый подход к проблеме перехода металл – диэлектрик. В рамках этого подхода нашло удовлетворительное объяснение поведение ряда неупорядоченных систем. В данной статье делается попытка применения этого подхода к описанию перехода диэлектрик – металл (ПДМ) в новом типе неупорядоченной системы – германии, "легированном" радиационными дефектами с мелкими уровнями.

Нами исследовались образцы *n*-германия с концентрацией электронов около $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, облученные различными дозами быстрых реакторных нейтронов ($D = 10^{15} \div 10^{19} \text{ см}^2$). Для ослабления потока тепловых нейтронов образцы помещались в кадмиевые пеналы с толщиной стенок 1 мм. Электрические свойства измерялись в области 1,5–300К. Концентрация дефектов определялась из измерений коэффициента Холла при комнатной температуре. В результате облучения все образцы стали образцами *p*-типа.

Одночастичная скейлинговая теория локализации [2,3] (пренебрегающая электрон-электронным взаимодействием) предполагает непрерывное изменение макроскопических свойств системы в критической области по аналогии с фазовыми переходами второго рода в виде степенных функций $\Phi(\zeta)$ длины когерентности

$$\zeta = \zeta^* \left| 1 - (n/n_c) \right|^{v_\zeta}, \quad (1)$$

где ζ^* и v_ζ – постоянные, а n_c – критическая концентрация электронов при ПДМ, т.е.

$$\Phi = \Phi^* \left| 1 - (n/n_c) \right|^{v_\Phi}. \quad (2)$$

В работах [4–7] была определена критическая концентрация дефектов ПДМ в германии, "легированном" радиационными дефектами, равная $N_c = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, и установлено, что при низких ($T < 10\text{K}$) температурах доминирующим механизмом проводимости с диэлектрической стороны ПДМ является прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка (VRH – variable range hopping).

Удельное сопротивление в области VRH-проводимости определяется как

$$\rho = \rho_0 \exp \left[(T_0/T)^{1/2} \right], \quad T_0 = 2,8e^2/k\alpha, \quad (3)$$

где ρ_0 и T_0 – прыжковые коэффициенты, k – постоянная Больцмана, α – радиус локализации, κ – диэлектрическая проницаемость.

Соотношение $\log \rho \sim T^{-1/2}$ свидетельствует о наличии в плотности состояний на уровне Ферми кулоновской щели, возникающей из-за кулоновского взаимодействия локализованных носителей заряда [8]. VRH-проводимость в германии с мелкими уровнями радиационных дефектов наблюдалась и изучалась ранее [5–7].

Таким образом, параметры (α , κ и T_0), характеризующие VRH-проводимость, могут быть использованы для описания критического поведения данного типа неупорядоченной системы в рамках скейлинговой теории.

Согласно этой теории [2,3], величины α и κ расходятся при приближении к ПДМ, т.е. при $N \rightarrow N_c$, [см. (2)]:

$$\alpha = \alpha^* \left| 1 - (N/N_c) \right|^{v_\alpha}, \quad \kappa = \kappa^* \left| 1 - (N/N_c) \right|^{v_\kappa}, \quad (4)$$

где v_α и v_κ – критические индексы, α^* и κ^* – численные коэффициенты, N – концентрация дефектов, N_c – критическая концентрация дефектов ПДМ.

Рассмотрим рост величин α и κ для германия, "легированного" радиационными дефектами с мелкими уровнями, при приближении к ПДМ. В качестве меры близости к ПДМ можно выбрать величину T_0 , так как при переходе $T_0 = 0$. Зависимости α и κ от T_0 , построенная по экспериментально определенным нами значениям T_0 и данным [5], показана на рисунке. Эти зависимости могут быть аппроксимированы выражениями

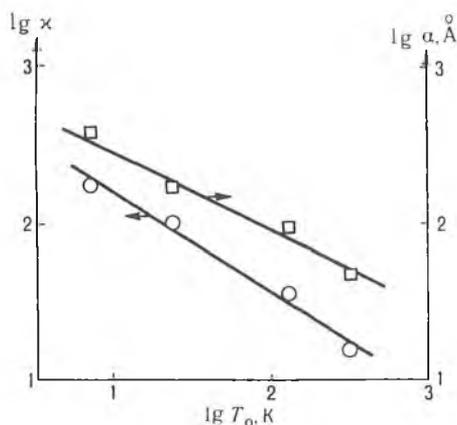
$$\alpha \sim T_0^{-0,4 \pm 0,04}, \quad \kappa \sim T_0^{-0,7 \pm 0,07}. \quad (5)$$

Из зависимостей (5) следует, что отношение критических индексов $\zeta/\kappa \approx 1,8$. Это достаточно близко к значению, предсказываемому теорией [2,3].

Для раздельного определения индексов κ и ζ необходимо знать критический индекс параметра T_0 , т.е. γ ,

$$T_0 \sim \left[1 - (N/N_c)\right]^\gamma. \quad (6)$$

В работе [9] одним из авторов была определена величина критического индекса $\gamma \approx 4,5$. С учетом этого из выражений (4)–(6) получается, что $\nu \approx 1,8$ и $\zeta \approx 3,15$.



Зависимость радиуса локализации (α) и диэлектрической проницаемости (κ) от коэффициента T_0

Определенные нами экспериментальные значения критических индексов ПДМ в германии, "легированном" радиационными дефектами с мелкими уровнями, в 2–2,5 раза превышают теоретические значения. Необходимо также отметить и отсутствие удовлетворительного согласия (в значениях критических индексов) с экспериментальными данными, полученными для некоторых типов неупорядоченных систем [1]. В то же время в работах [5,9] показано удовлетворительное согласие экспериментальных данных для такой неупорядоченной системы, как германий, "легированный" радиационными дефектами, с теоретической моделью ПДМ, предложенной Моттом [10].

Таким образом, установлено значительное расхождение между скейлинговой теорией ПДМ и экспериментальными данными для такого типа неупорядоченной системы, как германий, "легированный" радиационными

дефектами с мелкими уровнями, что, по-видимому, может свидетельствовать о неприменимости этой теоретической модели к рассмотренной системе.

Настоящая работа была поддержана Международной соросовской программой образования в области точных наук.

1. Electron – Electron Interactions In Disordered Systems / Edited by A.Efros, M.Pollak. New York, 1985.
2. Abrahams E., Anderson P.W., Licciardello D.C., Ramakrishnan T.V. // Phys. Rev. Lett. 1979. V.42. №10. P.673.
3. Звягин И. П. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках. М., 1984.
4. Dobrego V.P., Ermolaev O.P., Tkachev V.D. // Physica Status. Solidi.(a). 1977. V.44. №2. P.435.
5. Ермолаев О. П. // Весці АН Беларусі. Сер.фіз.-мат.наук. 1995. №1. С.70.
6. Ермолаев О. П. и др. // Сб. тезисов 6-ой Республиканской конф. молодых ученых по физике. Мн., 1980. С.128.
7. Кожух М. Л., Липкина Н. С., Шлимак И. С. // ФТП. 1985. Т.19. №2. С.331.
8. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., 1979.
9. Ермолаев О. П. // Вестн. БГУ. Сер.1. 1996. №1. С.19.
10. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах: В 2 т. М., 1982.

УДК 548.5.669.76

В.Г.ШЕПЕЛЕВИЧ

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОЛЬГИ ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ Bi-10 ат.% Sb-Sn, ПОЛУЧЕННОЙ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ РАСПЛАВА

The rapidly quenched foils of Bi-10 at. per cent Sb-Sn alloys are characterized by the $(10\bar{1}2)$ texture. The electrical properties of rapidly quenched foils are determined by holes in the low-temperature range, while an additional contribution to the transport processes is made by electrons.

Сплавы висмут-сурьма, содержащие 8–12 ат.% Sb, в которых процессы переноса определяются преимущественно высокоподвижными электронами, используются в качестве n -ветви низкотемпературных термоэлектрических устройств [1]. Исследования, представленные в работе [2], свидетельствуют о том, что дифференциальная термо-