

- [4] Баазов Н. Г., Манджавидае А. Г. Исследования редкоземельных магнетиков нейтронными методами. Тбилиси, 1983. 94 с.  
 [5] Катаев Г. И., Попков А. Ф., Шавров В. Г., Шубин В. В. // ЖЭТФ. 1985. Т. 89. № 4 (10). С. 1427—1442.  
 [6] Isci C., Palmer S. B. // J. Phys. Chem. Sol. 1977. V. 38. N 11. P. 1253—1258.  
 [7] Plessis P. V., Brits G. H. Physica. 1986. V. 136B. N 1—3. P. 397—399.

Московский государственный  
 университет им. М. В. Ломоносова  
 Москва

Поступило в Редакцию  
 7 июля 1988 г.

УДК 539.213.2

Физика твердого тела, том 31, в. 1, 1989  
 Solid State Physics, vol. 31, № 1, 1989

## О РАДИУСЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

А. Е. Почтенный, Я. А. Фель

Поскольку, как установлено к настоящему времени [1], основным механизмом электропроводности ряда органических полупроводников и диэлектриков является прыжковый, возникает проблема экспериментального определения необходимых для описания прыжковой проводимости параметров электропереноса, среди которых одним из важнейших следует назвать радиус локализации электронов [2]. Если для мелких примесей в легированных неорганических полупроводниках вследствие водородоподобности волновых функций радиус локализации  $a$  может быть определен на основе экспериментальных значений энергии ионизации примеси  $E$  и эффективной массы  $m$  как  $a = \hbar / (2mE)^{1/2}$  (см., например, [2]), то для электронов в органических полупроводниках и диэлектриках такой метод неприменим вследствие неприменимости приближения слабой связи. Вопрос же о радиусе волновых функций в приближении сильной связи носит дискуссионный характер. Следовательно, радиус локализации электронов в органических материалах необходимо определять экспериментально в рамках существующей теории прыжковой проводимости [2], чему и посвящена данная работа.

Оценка радиуса локализации электронов может быть произведена на основе данных по компенсационному эффекту [4], заключающемуся в том, что высокоомные органические материалы с большей энергией активации проводимости  $\epsilon$  имеют большее значение предэкспоненциального множителя  $\sigma_0$  в температурной зависимости проводимости

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\epsilon/kT), \quad (1)$$

причем связь между величинами  $\epsilon$  и  $\lg \sigma_0$  близка к линейной. Как было показано в [5], этот эффект может рассматриваться как прямое следствие прыжкового механизма проводимости, в случае реализации которого роль предэкспоненциального множителя в (1) играет величина [2]

$$\sigma_0 = \sigma_{03} \exp(-\alpha/aN^{1/3}), \quad (2)$$

где  $N$  — объемная концентрация центров локализации;  $\alpha$  — константа, равная 1.73 для сильно разупорядоченной [2] и 1.9 для слабо разупорядоченной [6] системы. Поскольку при малых  $N$ , т. е. в высокоомных материалах, энергия активации прыжковой проводимости может быть оценена как [7]

$$\epsilon = e^2 N^{1/3} / \chi, \quad (3)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $\kappa$  — относительная диэлектрическая проницаемость вещества, то, исключив из (2) и (3)  $N$ , получим соотношение

$$\varepsilon = ae^2 / 2.3\kappa a \lg(\sigma_{03}/\sigma_0), \quad (4)$$

описывающее компенсационный эффект. Сопоставление выражения (4) с экспериментальными данными и позволяет оценить величину  $a$ . Как видно из рис. 1, наилучшее согласие формулы (4) с экспериментом наблюдается при  $\kappa a \approx 50$  пм. Точное определение радиуса локализации невозможно из-за значительного разброса экспериментальных данных, который в первую очередь может быть обусловлен отличием значений  $\sigma_{03}$  у различных материалов. Тем не менее можно сделать вывод о близости значений  $a$  в органических материалах к радиусу волновой функции в изолированных

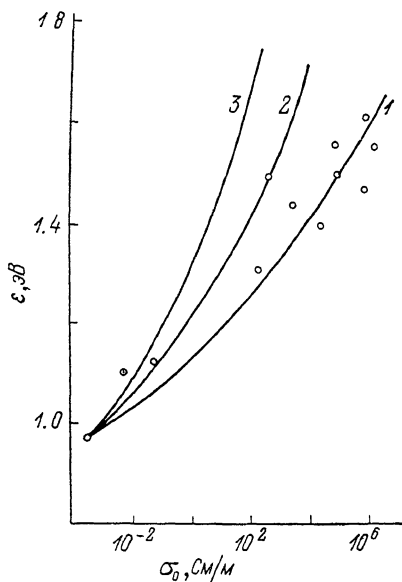


Рис. 1. Зависимость энергии активации проводимости ряда биополимеров от предэкспоненциального множителя температурной зависимости электропроводности.

Точки — эксперимент [8]; кривые 1, 2, 3 — расчет по формуле (4) для  $a=50, 75$  и  $100$  пм соответственно.

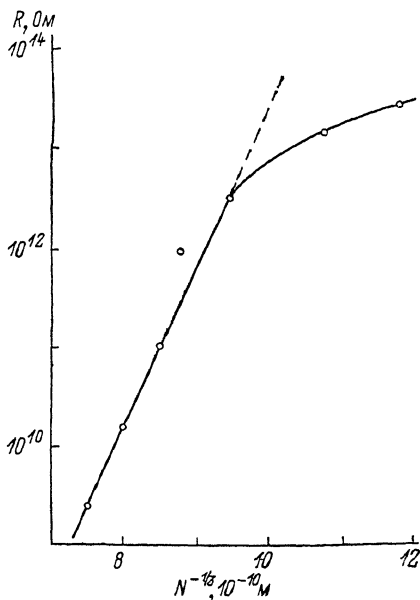


Рис. 2. Зависимость электросопротивления 9-*n*-диметиламиностирол, 10-этилакридинийиодида от объемной концентрации сорбированных молекул аммиака.

атомах, что позволяет полагать  $\kappa=1$  в соотношении (3). Более точное определение радиуса локализации может быть произведено на основе анализа экспериментальной зависимости электросопротивления  $R$  от концентрации центров локализации, которая в случае прыжковой проводимости должна иметь вид [2]  $R=R_0 \exp(\alpha/aN^{1/3})$ , если геометрическая форма и размеры образца в процессе эксперимента не изменяются.

На рис. 2 приведена зависимость электросопротивления пленки толщиной 0.05 мкм красителя 9-*n*-диметиламиностирол, 10-этилакридинийиодид от объемной концентрации сорбированных молекул аммиака, равномерно распределенных по объему пленки. Концентрация определялась непосредственно по массе сорбированных молекул, измеренной методом кварцевого резонатора.

Как показывает рис. 2, при концентрации аммиака, большей, чем  $1.2 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$ , прослеживается линейная зависимость логарифма электросопротивления от величины, обратной корню кубическому из концентрации, что указывает на прыжковый характер проводимости. Отклонение от линейной зависимости при меньших концентрациях может быть связано либо с вкладом собственных центров локализации в проводимость [9],

либо со смещением уровня Ферми примесными уровнями. Определяя тангенс угла наклона линейного участка приведенной на рис. 2 кривой, при  $\alpha=1.9$  получаем значение радиуса локализации электрона  $a=50\pm 5$  пм, что согласуется с приведенными выше данными по компенсационному эффекту и еще раз показывает, что радиус локализации электронов, участвующих в переносе заряда в органических материалах, близок к радиусу атомных волновых функций.

Авторы благодарят Б. И. Шкловского за полезное обсуждение.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Поуп М., Свенберг Ч. Электронные процессы в органических кристаллах. М., 1985. Т. 2. 464 с.
- [2] Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., 1979. 416 с.
- [3] Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. М., 1986. 304 с.
- [4] Балабанов Е. И., Берлин А. А., Паршин В. П. и др. // ДАН СССР. 1960. Т. 134. № 5. С. 1123—1126.
- [5] Почтенный А. Е., Ратников Э. В. // ДАН БССР. 1981. Т. 25. № 10. С. 896—898.
- [6] Почтенный А. Е., Ратников Э. В. // Тез. докл. Всес. конф. «Взаимодействие атомных частиц с твердым телом». М., 1987. Т. 2. С. 295—296.
- [7] Шкловский Б. И., Эфрос А. Л., Янчев И. Я. // Письма в ЖЭТФ. 1971. Т. 14. № 5. С. 348—351.
- [8] Cardew M., Eley D. // Disc. Faraday Soc. 1959. N 27. P. 115—128.
- [9] Почтенный А. Е., Ратников Э. В. // ДАН БССР. 1981. Т. 25. № 3. С. 225—227.

Белорусский технологический институт  
им. С. М. Кирова  
Минск

Поступило в Редакцию  
8 июля 1988 г.

УДК 537.226.33

Физика твердого тела, том 31, в. 1, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 1, 1989

## ДИСПЕРСИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КРИСТАЛЛОВ ДИГЛИЦИННИТРАТА

М. А. Леценко, Ю. М. Поплавко, В. П. Бовтун,  
И. П. Игошин, В. А. Юрин

Диглициннитрат  $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_2\text{HNO}_3$  — сравнительно малоизученный сегнетоэлектрик близкий по структуре и электрофизическим свойствам к триглицинсульфату  $(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3\text{H}_2\text{SO}_4$ . Однако в отличие от других представителей семейства ТГС, в которых фазовый переход (ФП) из неполярной фазы в полярную происходит с изменением симметрии  $2/m \rightarrow 2$  и сегнетоэлектрической становится ось  $[010]$ , в кристаллах ДГН имеет место переход  $2/m \rightarrow m$ , а спонтанная поляризация возникает в направлении  $[101]$  [1].

Сегнетоэлектрический ФП в кристаллах группы ТГС относят к переходу типа порядок-беспорядок и в последнее время преимущественно связывают со статистическим упорядочением ионов глициния 1, особенно групп  $\text{NH}_3$  [2]. Последнее движение является наиболее инерционным и определяет дисперсию  $\epsilon$  в кристаллах ТГС, которая происходит в диапазоне СВЧ и может быть описана как моделью релаксатора с критическим замедлением, так и моделью переторможенного осциллятора [3].

В структуре диглициннитрата нет аналогов иона глициния 1. Поэтому изучение динамики поляризации ДГН в окрестности сегнетоэлектрического ФП по дисперсии  $\epsilon$  и сравнение ее со свойствами ТГС расширяет представления о природе ФП в кристаллах этого типа [4-7]. Ранние исследования дисперсии  $\epsilon$  в кристаллах ДГН проводились на сравнительно низких