

## Прыжковая проводимость в полистироле, допированном иодом

© А.И. Драчев, С.З. Бубман, И.В. Разумовская

Московский государственный педагогический университет,  
119882 Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 10 декабря 1996 г.)

Исследован электроперенос в полистироле, допированном иодом, в интервале температур от 300 до 400 К. Показано, что благодаря примесям, способным образовывать с макромолекулами полимера комплексы с переносом заряда, электропроводность осуществляется по прыжковому механизму.

Ранее [1] нами было показано, что проводимость полиметилметакрилата (ПММА), содержащего иод, при низких температурах (от 300 до 400 К) хорошо описывается теорией прыжковой проводимости, разработанной в [2–5] для слабо легированных полупроводников. В настоящей работе подтверждена возможность применения этой теории к другому полимерному диэлектрику — полистиролу (ПС).

Объектом исследования служил ПС с температурой стеклования 355 К, характеризующийся в интервале температур 290–430 К отсутствием максимумов токов термостимулированной деполяризации (ТСД) как дипольно-сегментальной природы (благодаря своей неполярности), так и объемно-зарядовых. Образцы в виде пластин толщиной 0.2 мм получались прессованием под давлением 200 atm при температуре 430 К в течение 60 min с последующим охлаждением в пресс-форме. Внедрение иода осуществлялось по модернизированной нами технологии, описанной в [6]. Концентрация рассчитывалась по величине максимума полосы поглощения в области 390 nm с учетом коэффициента экстинкции.

Исследование процессов электропереноса осуществлялось методами термостимулированной проводимости в режиме медленного нагрева со скоростью 0.2 K/min в электрическом поле напряженностью 50 V/mm и ТСД со скоростью 2 K/min. Для получения токов ТСД образцы ПС предварительно поляризовались в поле напряженностью 1500 V/mm в течение 3 min при температуре 405 К с последующим охлаждением в том же поле со скоростью 2 K/min до комнатной температуры, после чего поле выключалось. Термограммы ТСД получены в режиме линейного нагрева со скоростью 2 K/min.

Электропроводность ПС экспоненциально возрастает с ростом температуры (кривая 1 на рис. 1). Внедрение иода приводит к росту электропроводности, уменьшению энергии ее активации (кривые 2–6 на рис. 1) и появлению ранее никем не наблюдавшегося и не описанного в литературе максимума на термограмме ТСД в районе 374 К (см. вставку на рис. 1).

Известно, что молекулы иода обладают акцептирующими свойствами [7,8]. Благодаря низкой молекулярной орбитали с потенциалом ионизации 7.8 eV и значительным сродством к электрону [9] молекулы иода захватывают слабо локализованный  $\pi$ -электрон стироль-

ного кольца, являющегося боковым привеском макромолекулы ПС, образуя комплекс с переносом заряда. Наличие вакантных состояний приводит к прыжковой проводимости этих электронов. Появление полосы оптического поглощения в области 390 nm, характерной для  $I_2^-$  [10], подтверждает образование в полимере комплекса с переносом заряда.

Полученные нами концентрационные зависимости энергии активации электропроводности ПС наилучшим образом описываются в рамках модели прыжкового механизма проводимости, предложенного Шкловским и Эфросом [2] для слабо легированных полупроводников с малым перекрытием волновых функций локализованных состояний. Зависимость энергии активации электропроводности ПС от отношения в степени 1/4 концентрации акцептора  $N_A$  (иода) к концентрации стирольных привесков  $N$  носит линейный характер (рис. 2) подобно тому, как это имеет место при слабой степени компенсации  $K \ll 1$ . В нашем случае  $K = N_A/N$  меньше  $2.5 \cdot 10^{-3}$ , т.е. условие  $K \ll 1$  выполняется.

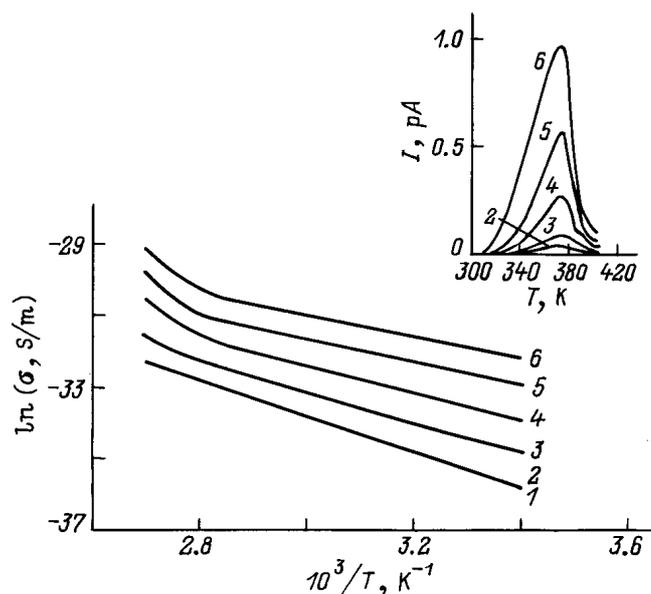
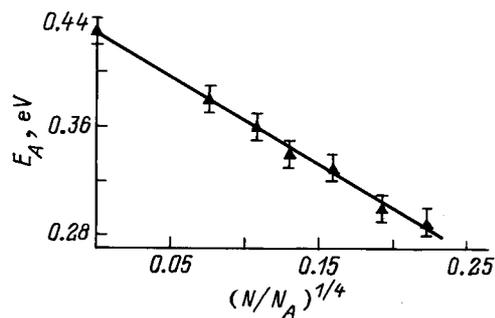


Рис. 1. Температурная зависимость проводимости  $\sigma$  и термограммы тока ТСД (на вставке) ПС, содержащего иод. Концентрация иода ( $10^{-3} \text{ mol/l}$ ): 1 — 0, 2 — 1.4, 3 — 2.8, 4 — 6.6, 5 — 14, 6 — 25.3.



**Рис. 2.** Энергия активации проводимости ПС как функция концентрации акцептирующей примеси.

Таким образом, как и ранее для ПММА [1], есть все основания предположить, что в ПС возможен прыжковый механизм переноса заряда, в котором определенную роль играют акцепторные примеси, способные образовывать с макромолекулами полимера комплексы с переносом заряда.

Работа выполнена при поддержке и финансировании РАО ГАЗПРОМ.

## Список литературы

- [1] А.И. Драчев, С.З. Бубман, И.В. Разумовская. ФТТ **33**, 4, 1304 (1991).
- [2] Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос. УФН **117**, 3, 401 (1975).
- [3] N.F. Mott. Rev. Mod. Phys. **50**, 2, 203 (1978).
- [4] Н. Мотт, Э. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах / Пер. с англ. под ред. Б. Коломийца. М. (1982). 366 с.
- [5] Sabra Rao, Ramesh Rumar, Narasimha Rao. Pros. Sol. Stat. Phys. Simp. **34c**, 242 (1991).
- [6] В.В. Некрасов, Р.Н. Нурмухамедов, Д.Н. Шигорин. ДАН СССР **272**, 2, 354 (1989).
- [7] K. Gain, A.C. Rastogy, K.I. Chopra. Phys. Stat. Sol. (a) **20**, 161 (1973).
- [8] P.C. Mehendry, K. Gain, H.G. Mehendry. Physica **D9**, 83 (1976).
- [9] П. Пинсийм. Флуоресценция и фосфоресценция / Пер. с англ. под ред. С.И. Вавилова. М. (1951). 128 с.
- [10] Ю.И. Василенок, Б.Э. Давыдов, Б.А. Кренцель, Б.И. Сажин. ВМС **7**, 4, 625 (1965).