

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СЫВОРОТКИ КРОВИ

*Е.Ю.Ведмеденко, М.В.Стучинская,
И.Н.Кувичка, М.В.Курик*

Изучению электропроводности, механизмов проводимости, процессов переноса заряда в различных биологических материалах в твердом состоянии посвящен ряд публикаций [1-4]. Современные физические представления о механизме проводимости развиты для одно- или двухкомпонентных биологических систем [1-3]. Для более сложных биологических структур вопросы электропроводности, процессы переноса носителей заряда остаются практически малоизученными.

Электрофизические свойства нативных биологических структур, характерных для организма человека как для состояний нормы, так и для патологических состояний, представляют интерес и чисто практический, в связи с возможностью разработки новых методик диагностики [5,6]. Наиболее характерными биологическими средами человеческого организма являются сложные липопротеидные комплексы, образующие характерные мицелярные структуры [6]. Такие мицелярные структуры, как правило, образуют фракталы в твердом состоянии [7]. Это обстоятельство дает основание использовать современные представления физики твердого тела к объяснению механизмов электропроводности в таких биологических структурах [4].

В настоящей работе впервые экспериментально исследованы электропроводность как функция температуры и частоты электрического поля сыворотки донорской крови человека в твердом состоянии.

Для исследований бралась сыворотка донорской крови практически здоровых людей. В твердом состоянии нативная сыворотка имеет преимущественно аморфную структуру, а разбавленная физиологическим раствором — дендридную структуру.

Сыворотка крови (нативная или разбавленная физиологическим раствором) наносилась на специальные электроды измерительной ячейки поверхностного или сэндвичного типа и далее высушивалась в термостате при 310 К до достижения постоянного веса. Электродами служили слои SnO_2 и In_2O_3 . Толщина междуэлектронного промежутка для

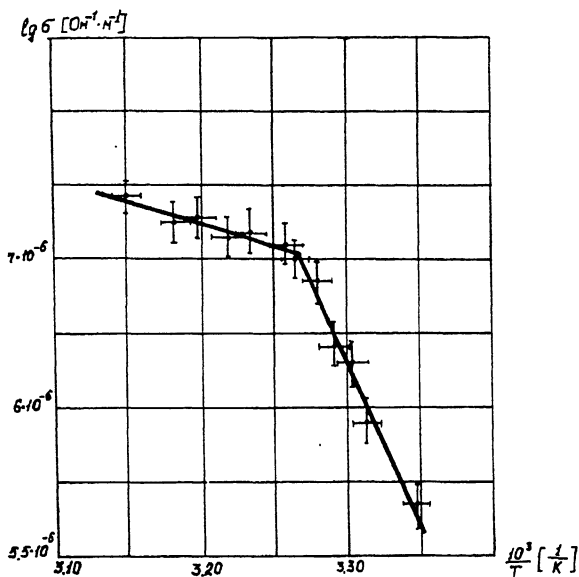


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности сыворотки крови, измеренная на постоянном токе.

сэндвич-структур составляла 50 мкм, а для поверхностных ячеек — 1 мм. Основные характеристики не зависят от материала электродов.

Электропроводность измерялась мостовым методом на постоянном или переменном токе. Подвижность носителей заряда измерялась методом обратного поля [8] и методом фотовозбуждения носителей [9]. В обоих методиках на кривой зависимости ток — время наблюдается отчетливый максимум, который связан с пролетом носителей тока между электродами и определяет дрейфовую подвижность носителей заряда в исследуемом образце.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) образцов при измерении на постоянном токе имеют линейный вид до полей 2 кв/см. При более высоких полях наблюдаются экспоненциальные ВАХ. Возможно, что экспоненциальность ВАХ обусловлена отчасти вкладом тепловых процессов в образцах, так как выделяемая энергия при таких больших электрических полях достигает 0.1 Вт/см [10].

На рис. 1 представлены результаты измерений электропроводности сыворотки крови в твердом состоянии как функция температуры. Видно, что электропроводность имеет типичную экспоненциальную зависимость с двумя

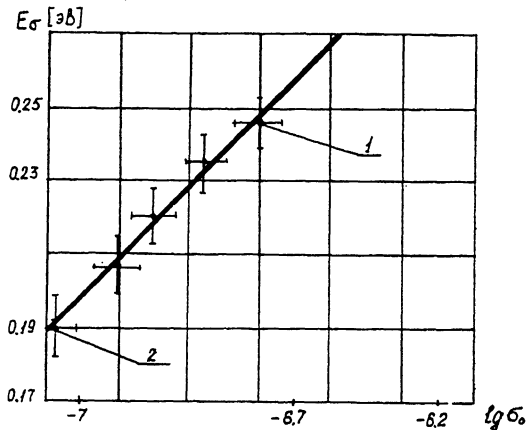


Рис. 2. Взаимосвязь предэкспоненциального множителя и энергии активации электропроводности высушенных растворов сыворотки крови в изотоническом растворе NaCl различных концентраций в интервале температур 307–333 К: 1 — 50% концентрация раствора, 2 — цельная сыворотка.

энергиями активации проводимости (0.65 ± 0.02) эВ для 290–305 К и (0.15 ± 0.02) эВ для 305–333 К.

Для исследуемых образцов сыворотки крови и высушенных ее растворов в изотоническом растворе хлористого натрия соблюдается для интервала температур 305–338 К правило Мейера–Нельделя (рис. 2), т. е. наблюдается линейная зависимость между предэкспоненциальным множителем в экспоненциальной зависимости электропроводности от температуры и энергии активации [12].

Частотные зависимости электропроводности дают в интервале температур 290–305 К $\sigma \sim \omega^{0.7}$ (ω — частота приложенного поля), а выше 305 К — $\sigma \sim \omega$ для интервала частот до 4 МГц.

На рис. 3 представлены результаты зависимости подвижности носителей заряда от температуры. Видно, что как и электропроводность, зависимость подвижности от температуры экспоненциальна с двумя энергиями активации. Для области температур 290–305 К энергия активации равна 0.57 ± 0.02 эВ.

При переходе сыворотки в твердую фазу электропроводность сыворотки уменьшается более чем на четыре порядка и имеет зависимость от температуры, характерную для полупроводников [4]. Подтверждением электронной проводимости сыворотки крови в твердом состоянии может быть отсутствие эффекта электроочистки при прохождении постоянного тока через образец и независимость характеристик проводимости от электродов, а также воспроизводимостью

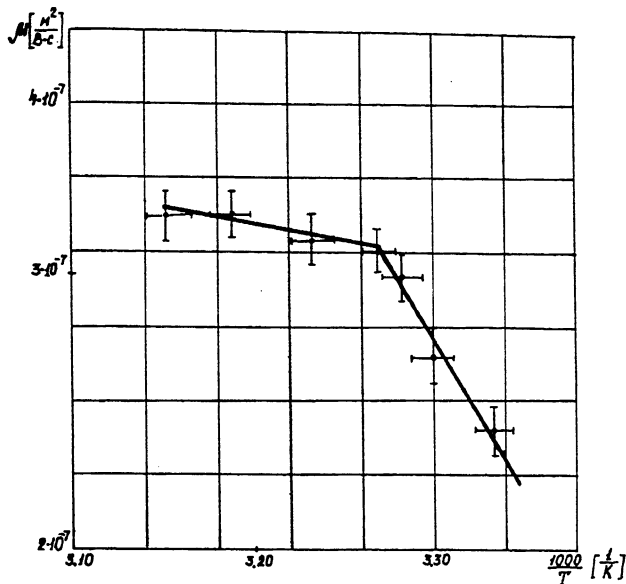


Рис. 3. Температурная зависимость подвижности носителей заряда в твердых образцах сыворотки крови. Толщина ячейки 100 мкм, напряжение 25 В.

результатов при многократных измерениях. Вклад ионной составляющей в проводимость незначительный.

О механизме переноса носителей в твердой фазе сыворотки можно сделать следующее заключение. Малая величина подвижности и экспоненциальная ее зависимость от температуры дают основание рассматривать как туннельный, так и прыжковый механизмы их движения [4,11]. Величина энергии активации проводимости (0.65 ± 0.02 эВ) для 290–305 К имеет типичное значение для прыжкового механизма проводимости. Тем не менее эта величина не настолько велика, чтобы можно было исключить механизм туннелирования электронов. С учетом двух энергий активации подвижности и их воспроизводимости для различных образцов сыворотки крови можно сделать вывод о том, что до 305 К электропроводность сыворотки крови имеет прыжковый характер, а выше этой температуры — туннельный.

Доказательством туннельного механизма движения электронов в сыворотке крови при высоких температурах может быть также выполнимость правила Майера-Нельделя [14], рис. 2 и линейная зависимость проводимости от частоты. Независимость параметров электропроводности от структуры образца свидетельствует об основной роли ближнего порядка взаимодействия в явлениях переноса, что также

вытекает из модели, предполагающей туннельный механизм движения электронов [11-12].

Сопоставление частотной зависимости электропроводности с теоретическими рассмотрениями [13], можно интерпретировать зависимость вида $\sigma(\omega) \sim \omega^\delta$, где $0.5 \leq \delta < 1.0$ в рамках модели перколяционной проводимости.

Полученные экспериментальные результаты зависимости электропроводности и подвижности носителей заряда сыворотки крови от температуры позволяют заключить, что в твердой фазе сыворотки крови преобладает электронная проводимость, причем при температурах 209-305 К движение носителей имеет прыжковый характер, а для температур выше 305 К преобладает туннелирование электронов.

Авторы выражают благодарность Э.П.Петрову за полезные замечания при обсуждении результатов.

Список литературы

- [1] *Osak W. et al. // Biopolymers. 1989. V. 28. N 1. P. 1885-1890.*
- [2] *Faraggi M. et al. // Pes. Lab. Appl. Rep. 1988; Israel Atom. Energy Comm. 1989. P. 158.*
- [3] *Оганесян О.В., Арцруни Г.Г. // Биофизика. Т. 30. 1985. В. 6. С. 955.*
- [4] *Петров Э.Г. Физика переноса зарядов в биосистемах. Киев, 1984. С. 368.*
- [5] *Захария Е.А. и др. Лабораторная диагностика ишемической болезни сердца. Киев, 1989. С. 135.*
- [6] *Лысенко В.М. и др. Экстракорпоральная жидкокристаллическая диагностика холецистита. Свердловск, 1989. С. 9.*
- [7] *Mearin P. // Phase Transitions. 1988. N 12. P. 336.*
- [8] *Szumansky A. // Fizika diel i radios. 1979. V. 11. P. 175.*
- [9] *Kepler R.G. // Phys. Rev. 1960. V. 119. P. 1226.*
- [10] *Богуславский Л.И., Ванников А.В. Органические полупроводники и биополимеры. Электропроводность и физико-химические свойства. М., 1968. С. 139.*
- [11] *Гутман Ф., Лайонс Л. Органические полупроводники. / Под ред. Е.М.Франкевича. 1970. 696 с.*
- [12] *Keteny G., Rosenberg B. // J. Chem. Phys. 1970. V. 52. N 8. P. 4151-4153.*
- [13] *Винников А.Я., Мешков А.М., Савушкин В.Н. // ФТТ. 1982. Т. 24. В. 5. С. 552-1259.*
- [14] *Курик М.В., Шадчин Е.А. // ФФТ. 1985. Т. 27. В. 9. С. 2665-2668.*

Луганский медицинский институт;
Киевский медицинский университет;
Институт физики АН Украины
Киев

Поступило в Редакцию
29 августа 1993 г.
В окончательной редакции
27 апреля 1994 г.

