

АКУСТОГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ В ВОДЕ

И.Г. ГРИГОРЬЯН*

Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак, Армения

*e-mail: irina.g.grigoryan@gmail.com

(Поступила в редакцию 17 мая 2021 г.)

В работе приведены результаты экспериментального исследования возникновения электрического тока в воде при взаимодействии с акустическими волнами. Помимо наличия слабого акустоэлектрического эффекта, обнаружено также новое, резонансное акустогальваническое явление в воде. Обсуждаются возможные причины малого значения акустоэлектрического тока и физический механизм возникновения акустогальванического эффекта, связанный с деполяризацией гальванического элемента системы (электроды-вода).

1. Введение

Известно, что при распространении акустических волн в металлах и полупроводниках, возникает электрический ток [1]. Это явление, названное акустоэлектрическим явлением, было теоретически предсказано и представлено Р.П. Парментером в 1952 году [2], а затем и Н.Г. Гуревичем в 1957 году [3]. Акустоэлектрическое явление экспериментально впервые было обнаружено также в 1957 году в кристаллах германия (Ge) Уэйном Греем, Уайтом [4], а также японскими исследователями Сасаки В. Джошида Е. [5].

Акустаэлектрические токи в полупроводниковых кристаллах с центром симметрии, таких как германий (Ge) и кремний (Si), а также в металлах, довольно слабые. Однако, в кристаллах CdS, CdSe, ZnO, CaAs, InSb и в других пьезоэлектрических средах это явление повышается на 5–6 порядков. Согласно принятому представлению о физическом механизме этого явления, генерация электрического тока вызвана передачей части энергии импульсов звука электронам проводимости. Акустоэлектрическое явление широко используется в технике для контроля и управления сложными технологическими процессами. С этой целью разрабатываются различные акустоэлектрические преобразователи [9–11], которые в сочетании с вспомогательными техническими средствами позволяют решать достаточно сложные технические задачи. Нам не удалось в научно-технической литературе получить ответ на многие вопросы, связанные с физико-химическими процессами при воздействии акустического излучения с жидкостями и, в частности, с водой и водными растворами. Возможно, что в обычной воде и водных растворах отсутствие регистрации акустоэлектрического явления

обусловлено большой массой токопроводящих зарядов. В данной работе представлены результаты попытки экспериментального обнаружения и исследования акустоэлектрического явления в обычной воде.

2. Условия эксперимента

Для исследования возможного акустоэлектрического явления в воде использовалась экспериментальная установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. В качестве источника акустических колебаний использовалось устройство на основе пьезокерамических излучателей (1), с резонансной частотой 17,6 кГц, при котором уровень звука достигал 120 дБ. Исследуемая вода находилась в химическом стакане ёмкостью 50 мл (2). Тонкая медная пластина (3) была установлена на дне стакана и была соединена в измерительную электрическую цепь. Конец концентратора акустического излучателя (4) был погружен в воду в центральной части стакана. Электропитание пьезокерамического генератора осуществлялось от звукового усилителя (5), на входе которого был подключен звуковой генератор (6). Медный электрод (3) через микроамперметр (7) соединен к вольтметру (8). К другой клемме вольтметра подключен корпус концентратора акустического излучателя, изготовленного из титана цилиндрической формы, диаметром 6 мм. При отсутствии акустических колебаний, из-за разности электрохимических потенциалов электродов (3 и 4) в измерительной цепи регистрируются небольшие значения разности потенциалов и тока, которые через некоторое время становятся незначительными. При наличии акустического излучения в спектральном диапазоне вдали от резонансной частоты, не наблюдались изменения в показаниях измерительных приборов. Однако, при изменении

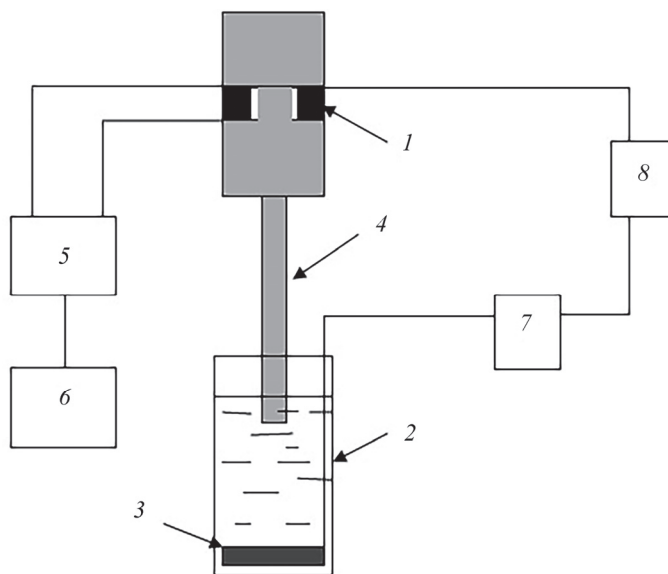


Рис.1. Принципиальная схема экспериментального измерительного оборудования.

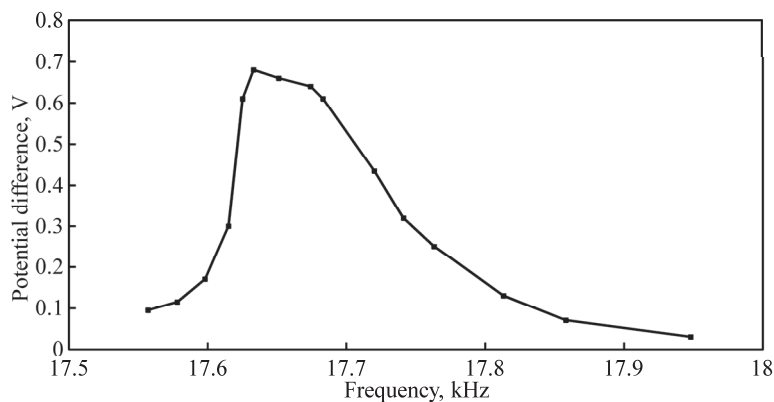


Рис.2. Зависимость разности потенциалов от частоты в области акустического резонанса.

частоты акустического излучения в области резонанса, регистрировались значительные изменения в показаниях измерительных приборов.

На рисунках 2 и 3 представлены графики зависимости разности потенциалов (рис.2) и величины тока (рис.3) в цепи от частоты акустического излучения. Из графиков следует, что они получают максимальные значения при резонансной частоте генератора акустических колебаний. В соответствии с механизмом возникновения акустоэлектрического тока в металлах и полупроводниках, это явление приводит к повышению электропроводности, т.е. к изменению физических характеристик среды.

Следовательно, возможной причиной появления разности потенциалов и резкого изменения величины тока может быть изменение физико-химических характеристик воды. Поэтому исследовалась вольтамперная характеристика водной среды между электродами 3 и 4.

На основе приведенных измерений на рис.4 представлена вольтамперная характеристика исследуемого образца воды, из которой следует, что не наблюдается изменение характеристик параметров воды при воздействии на него синусоидальных акустических колебаний. Следовательно, такие резкие изменения

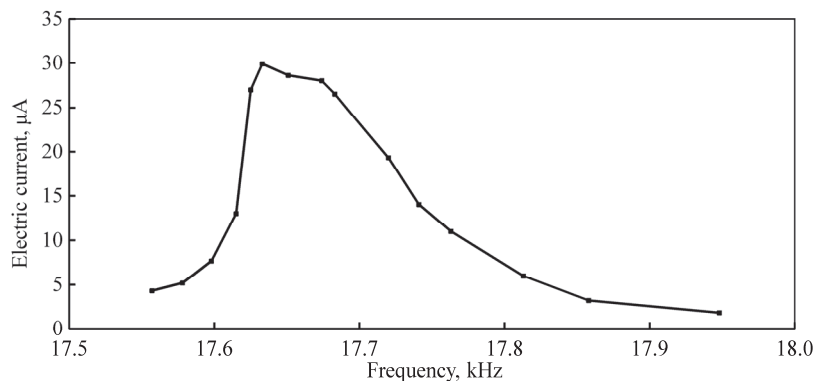


Рис.3. Зависимость электрического тока от частоты в области акустического резонанса.

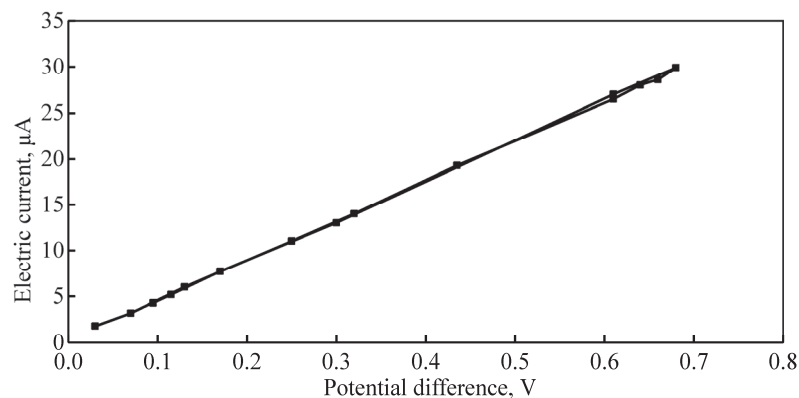


Рис.4. Вольтамперная характеристика испытуемой воды в области акустического резонанса.

разности потенциалов (рис.2) и величины тока (рис.3) не связаны с изменениями физико-химических свойств воды.

Известно, что электропроводность воды осуществляется при помощи диссоциированных в воде H^+ и OH^- ионов и под воздействием акустических волн осуществляется смещение зарядов в определенном направлении. Кроме того, известно, что акустоэлектрический ток обратно пропорционален массе зарядов, а массы ионов H^+ и OH^- значительно превосходят массу электронов. Возможно, что по причине большой разницы масс токопроводящих ионов воды и электронов можно объяснить неизменность электрического сопротивления воды под воздействием акустических волн (рис.4).

Весьма интересным явлением является то, что после выключения генерации акустических волн акустоэлектрический ток должен был немедленно прекратиться, но в наших измерениях он не исчезал в течение относительно длительного периода времени. Электрический ток медленно уменьшался до значений, соответствующих исходным величинам тока. На рисунке 5 показано изменение электрического тока с течением времени после выключения акустических колебаний.

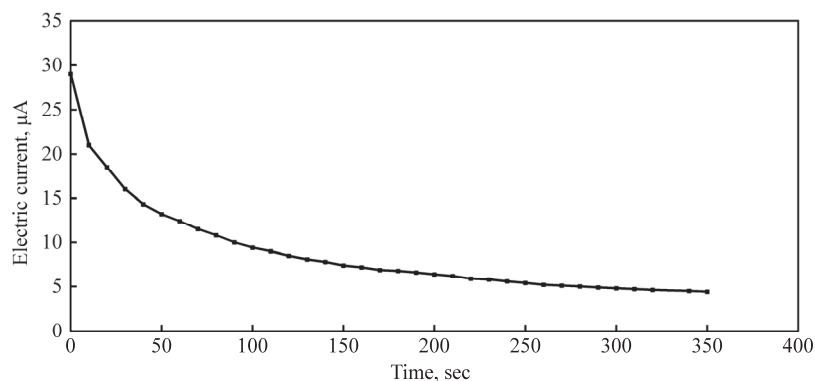


Рис.5. Изменение тока во времени после отключения акустических колебаний.

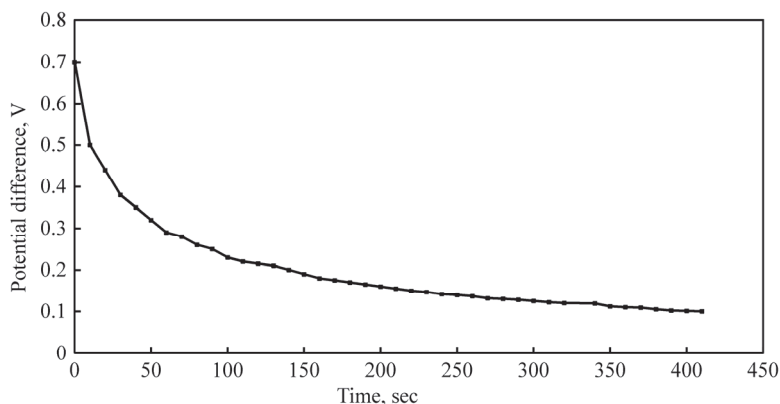


Рис.6. Изменение разности потенциала после отключения акустических колебаний.

Такое же изменение наблюдается в изменении величины разности потенциалов от времени (рис.6) после выключения генерации акустических волн.

Отметим, что представленные временные зависимости величин регистрированы при нагрузке 150 кОм. Очевидно, что полученные результаты не могут быть представлены как акустоэлектрическое явление.

Показанные на рис.5 и 6 графики соответствуют явлению деполяризации гальванического элемента [6]. Следовательно, причиной зарегистрированного явления (рис. 5 и 6) может быть изменение взаимодействия поверхностей металлических электродов с обычной водой. Известно, что при контакте различных сред, между ними образуются двойные электрические слои и, в результате, возникает разность потенциалов между средами [6–8]. В приведенном эксперименте образуются две двойные слои: один при контакте концентратора акустического излучателя из титана с водой и второй, при погружении медной пластины в воду. Возможно, что под воздействием акустических колебаний могут происходить изменения в структурах указанных двойных электрических слоев. Для выявления воздействия на результаты измерений двойного слоя с медной пластиной, после воздействия акустических волн и достижения максимального значения разности потенциалов, медная пластина была заменена на аналогичный медный электрод, неподвергнутой акустическим колебаниям. Замена пластины не привела к изменению в результатах измерений. Следовательно, при акустических колебаниях в условиях резонанса происходят изменения в структуре двойного слоя, образованного у поверхности титанового концентратора в области контакта с водой. В соответствии с моделью двойного электрического слоя Гельмгольца можно приграничные образования представить в виде конденсатора на границе соприкосновения двух сред, характеризующие определенным значением электрической емкости. Основываясь на этой модели двойного электрического слоя, проводились исследование изменения величины емкости испытуемой системы из двух двойных электрических слоев в зависимости от значения индуцированной акустическим воздействием разности потенциалов. Измерения электроемкости

проводились при выключенном устройстве акустического излучателя и в процессе деполяризации гальванического элемента. На рис.7 представлена зависимость величины электроёмкости исследуемой системы двойных слоев от величины разности потенциалов.

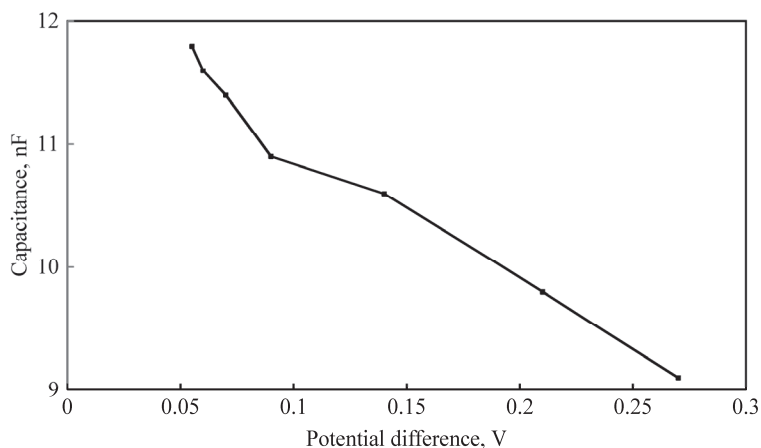


Рис.7. Зависимость электроёмкости системы из двойных электрических слоев медного и титанового электродов от разности потенциалов после выключения акустического воздействия.

Из графика следует, что с увеличением величины разности потенциалов уменьшается суммарная ёмкость системы из двух двойных электрических слоев, т.е. из двух конденсаторов. В соответствии со схемой измерения эти конденсаторы соединены последовательно и, как указано выше, если двойной электрический слой медного электрода не подвергся изменению, то меняется электроёмкость двойного электрического слоя второго электрода – титана.

Следовательно, повышение разности потенциалов между электродами сопровождается уменьшением электроёмкости двойного слоя электрода из титана, т.е. при колебаниях с большой амплитудой уменьшается заряд двойного слоя у титанового электрода. Таким образом, повышение величины разности потенциалов между медным и титановым электродами под действием акустических колебаний и при условии акустического резонанса, связано с разрушением двойного электрического слоя у титанового электрода, что и приводит к уменьшению электрохимического потенциала титанового электрода. При условиях акустических колебаний с достаточно большой амплитудой, которая достигается при резонансной частоте колебания акустического излучателя, электрохимический потенциал может уменьшиться до нуля, тогда величина измеряемой разности потенциалов будет соответствовать электрохимическому потенциалу другого металлического электрода, введенного в воду по схеме измерения, представленной на рис.1. Поэтому, приведенный метод измерения может быть рекомендован как возможный способ для измерения величины гальванического потенциала материалов. Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что обнаруженное явление, индуцированное акустическими колебаниями при условии резонанса, представляет собой гальванический эффект, т.е. наблюдается акустогальваническое явление.

3. Заключение

Таким образом, выявлено, что акустоэлектрическое явление в воде весьма мало по причине большой массивности носителей электропроводимости воды по сравнению с электронами. Под воздействием акустических колебаний на воду в условиях акустического резонанса обнаружено акустогальваническое явление. Предложен физический механизм возникновения этого явления.

Автор выражает благодарность руководителю, академику НАН РА Р.Б. Костяному за весьма полезные обсуждения результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.М. Беляев и др. Кристаллография, **10**(2), 252 (1965).
2. R.H. Parmenter. Phys. Rev., **89**, 990 (1953).
3. L.E. Gurevich. Izvest. Akad. Nauk. SSSR., ser. Phys., **21**, 112 (1957).
4. G. Weinreich, H.G. White, Phys. Rev., **106**, 1104 (1957).
5. W. Sasaki, E. Yoshida, J. Phys. Soc. Japan, **12**, 979 (1957).
6. В.С. Багоцкий, Основы электрохимии, Москва: Химия, 1988.
7. А.Л. Ротинян, К.И. Тихонов, И.А. Шошина. Теоретическая электрохимия. Л.: Химия, 1981.
8. А.Н. Фрумкин, В.С. Багоцкий, З.А. Иофа, Б.Н. Кабанов. Кинетика электродных процессов, Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1952.
9. В.Е. Курочкин, В.А. Сергеев, Б.П. Шарфарец, Ю.В. Гуляев. Докл. Акад. наук., **483**(3), 260 (2018).
10. Б.П. Шарфарец, В.Е. Курочкин, В.А. Сергеев, Ю.В. Гуляев. Акуст. журн., **66**(4), 453 (2020).

ACOUSTOGALVANIC EFFECT IN WATER

I.G. GRIGORYAN

The paper presents the results of an experimental study of the occurrence of electric current in water when interacting with acoustic waves. In addition to the presence of a weak acoustoelectric effect, a new, resonant acoustogalvanic phenomenon in water was also discovered. Possible reasons for the small value of the acoustoelectric current and the physical mechanism of the appearance of the acoustogalvanic effect associated with depolarization of the galvanic element of the system (electrodes-water) are discussed.