

надежное значение энергии 16 ± 1 мэВ. Приведенные результаты представляют собой первое прямое наблюдение мелких акцепторных уровней в *GaSb*, что позволило однозначно определить их энергетическое положение.

Авторы выражают благодарность Ю.П. Яковлеву за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] L a n d o l t - B ö r n s t e i n. New Series, Group III, v. 17, Subvol. a, Physics of Group IV Elements and III-V Compounds (Edited by O. Madelung). Springer-Verlag, 1982.
- [2] J o h n s o n E.J., F a n H.Y. - Phys. Rev., 1965, v. 139, A1991.
- [3] J o h n s o n E.J., F i l i n s k i I., F a n H.Y. - Proc. Int. Conf. Phys. Semicond. Exeter, 1962.
- [4] B a l d e r e s c h i A., L i p a r i N.O. - Phys. Rev. B, 1974, v. 9, p. 1525.
- [5] V a n D e r M a u l e n Y.I. - J. Phys. Chem. Sol., 1967, v. 28, p. 25.
- [6] Б а г р а е в Н.Т., Б а р а н о в А.Н., В о р о н и н а Т.И., Т о л п а р о в Ю.Н., Я к о в л е в Ю.П. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, № 2, с. 117-121.
- [7] J a k o w e t z W., R ü h l e W., B r e u n i n g e r K., P i l k u h n M.N. - Phys. Status Solidi (a), 1972, v. 12, p. 169.
- [8] J a k o w e t z W., B a r t h r u f f D., B e n z K.W. - Inst. Phys. Conf. Ser., 1977, v. 33a, p. 41.
- [9] Б а р а н о в А.Н., В о р о н и н а Т.И., З и м о г о р о в а Н.С., К а н с к а я Л.М., Я к о в л е в Ю.П. - ФТП, 1985, т. 19, № 9, с. 1676-1679.

Ленинградский
электротехнический институт
им. В.И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
22 сентября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 1

12 января 1988 г.

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ПОСТОЯННОЙ ЭДС ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Н.В. Д е ж к у н о в

Широко известны различные принципы преобразования переменных механических напряжений (например, ультразвуковых) в переменную ЭДС.

В данной работе показано, что под действием ультразвука возможно также генерирование постоянной ЭДС и что такое преобразование реализуется в электрохимической ячейке.

Использовался простейший вариант ячейки с одинаковыми полупротодами — два одинаковых электрода в емкости с электролитом. ЭДС такой ячейки, как известно [1], равна нулю. Электроды впаивались коаксиально в стеклянные трубки, чтобы исключить влияние потенциала на границе жидкость-газ на результаты измерений. Диаметр электродов составлял 2 мм, контакт их с жидкостью осуществлялся на торцевой поверхности (боковая защищена корпусом-трубкой). Один из электродов изолировался от воздействия ультразвука посредством пористого звукопоглощающего экрана. Ультразвуковые колебания частотой f_0 в диапазоне 10–80 кГц возбуждались магнитострикционным преобразователем, вмонтированным в дно емкости. Температура жидкости поддерживалась постоянной с точностью ± 0.5 °С. Возникновение кавитации, как и в [2], фиксировалось по появлению субгармоники $\frac{f_0}{2}$ в спектре сигнала, воспринимаемого гидрофоном, расположенным над излучателем. ЭДС измерялась вольтметром с высокоомным входом, работающим по компенсационной схеме (П-5827) и записывалась графопостроителем Н-306.

Типичные зависимости от времени воздействия ультразвука t представлены на рис. 1, где $t=0$ — момент включения, $t=t_B$ — момент выключения колебаний. Установлено, что постоянная ЭДС E , генерируемая электрохимической ячейкой под действием ультразвука, возникает уже при достаточно малых амплитудах колебаний излучателя A в заведомо докавитационном режиме (рис. 1, а). Характер зависимостей $E(t)$ меняется с изменением амплитуды колебаний излучателя A . При A меньше амплитуды, соответствующей порогу кавитации, в электролите ($A < A_{пор}$) E плавно растет по мере увеличения t . Разброс значений измеряемой величины около средней линии $E(t)$ в этом случае не превышает 1–2%. При $A = 1.5\text{--}2 A_{пор}$ и более разность потенциалов E после включения ультразвука скачком принимает некоторое конечное значение и затем (в зависимости от амплитуды колебаний излучателя) может либо увеличиваться (рис. 1, б, в), оставаться в среднем неизменной (рис. 1, г) или уменьшаться (рис. 1, д).

При переходе от докавитационного режима озвучивания ($A < A_{пор}$) к кавитационному ($A > A_{пор}$) наблюдается увеличение генерируемой ЭДС более чем на порядок (рис. 2). С увеличением расстояния l до излучателя эффект уменьшается.

Очевидно, что ЭДС, регистрируемая в описанных выше экспериментах, — это результат воздействия ультразвука на электродный потенциал. Один из возможных механизмов этого воздействия — изменение свойств жидкости под действием ультразвука (особенно в кавитационном режиме). Другой — изменения в двойном электрическом слое, формирующемся на поверхности электрода. Известно, что в мощных акустических полях вблизи твердых поверхностей возникают мелкомасштабные акустические течения [3] — так

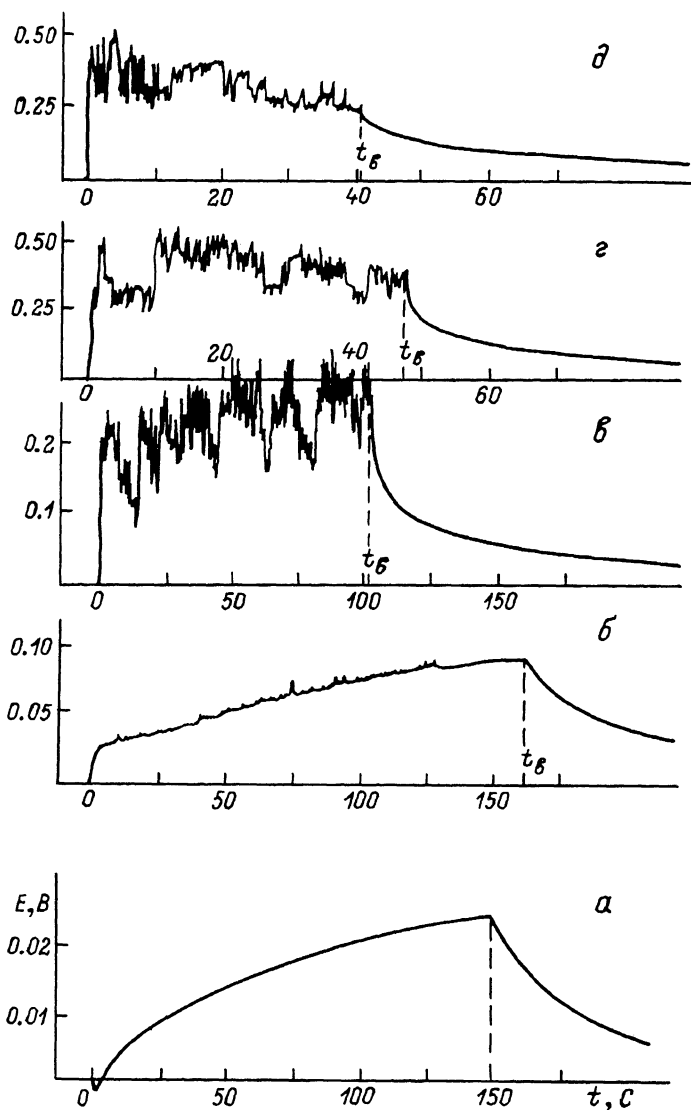


Рис. 1. Типичные зависимости ЭДС E электрохимической ячейки от времени воздействия ультразвука t ; $A = 0.2$ мкм (а), 0.8 (б), 5 (в), 12 (г), 45 (д); $l = 1.5$ мм; материал электродов - алюминий. Жидкость - водопроводная вода, $pH = 6.5$.

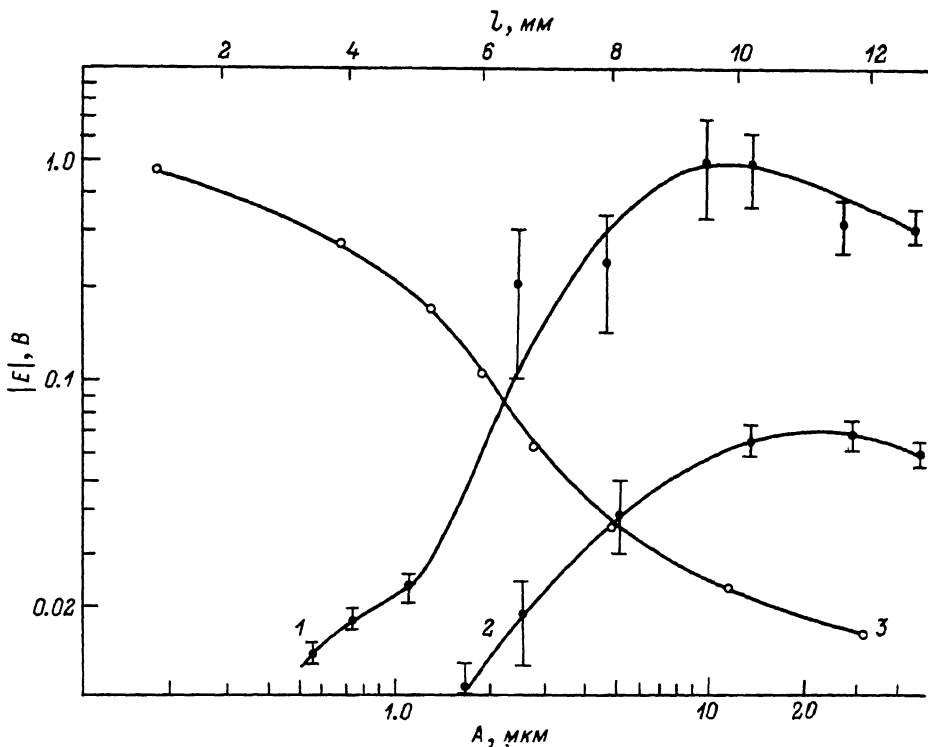


Рис. 2. Зависимости ЭДС E от амплитуды колебаний излучателя A (1, 2) и расстояния до излучателя (3): $t = 20$ с, $l = 1.5$ мм (1 и 2); $A = 12$ мкм (3); 1, 3 - алюминиевые электроды, 2 - платиновые. Жидкость - водопроводная вода, $pH = 6.5$.

называемый акустический пограничный слой с толщиной $\delta_{эл} = \left(\frac{2\eta}{\omega}\right)^{1/2}$, где η - вязкость, ω - круговая частота. Для воды при частоте $f_0 = 20$ кГц $\delta_{эл}$ составляет 3.2 мкм, т. е. имеет порядок толщины двойного электрического слоя $\delta_{эл}$ (1 мкм [4]). Поэтому правомерно предполагать, что ионы двойного слоя (в первую очередь его диффузной части), находящиеся в жидкости, увлекаются акустическими микропотоками из пограничного слоя и перемещаются в объем жидкости. В результате поле двойного слоя, выравнивающее электрохимические потенциалы электрода и раствора и препятствующее переносу заряда через поверхность металл-раствор, уменьшается. Как следствие, возникает дополнительный поток заряда, и система переходит в новое состояние равновесия, в котором унос заряженных частиц из двойного слоя уравнивается дополнительным прираще-

нием потенциала электрода E . Возникающая при этом разность потенциалов электродов ячейки равна фиксируемой в эксперименте ЭДС.

В кавитационном режиме на твердые поверхности оказывается существенно более интенсивное воздействие (вплоть до разрушения [5]). Время развития кавитационной области составляет 5–7 периодов колебаний ($\sim 10^{-4}$ с при $f_0 = 20$ кГц), что на несколько порядков меньше характерного времени установления акустических течений [3]. Поэтому в кавитационном режиме двойной слой под действием кавитации разрушается с очень большой скоростью после включения ультразвука, что и является причиной скачкообразного увеличения E (рис. 1, б–д).

Разброс значений генерируемой ЭДС достигает максимальных значений (до 50%) при $A \approx A_{пор}$ вследствие того, что при не очень больших интенсивностях кавитационные пузырьки распределены в кавитационной области неравномерно, возникают скопления их с повышенной концентрацией (кластеры), которые хаотически перемещаются. Попадание такого скопления пузырьков на поверхность электрода приводит к увеличению воздействия на двойной слой, смещение его из объема, где находится электрод, вызывает уменьшение эффекта.

При $A \gg A_{пор}$ концентрация пузырьков близка к насыщению во всей кавитационной области, т. е. кавитационная область более равномерно заполнена пузырьками, поэтому и ее воздействие на двойной слой является более стабильным (рис. 1, д). Уменьшение эффекта с течением времени, наблюдающееся в этом случае, может быть объяснено тем, что двойной слой разрушается практически мгновенно и в дальнейшем уже не происходит дополнительного снижения концентрации ионов в двойном слое. С другой стороны, за счет интенсивного разрушения электрода под действием кавитации увеличивается концентрация ионов металла во всем объеме жидкости, что вызывает увеличение концентрации ионов также и в двойном слое, а как следствие уменьшение разности потенциалов со временем.

Отметим, что в кавитационном режиме определенный вклад в возникновение ЭДС может вносить изменение концентрации ионов в жидкости и разрушение оксидного слоя электрода. Последний фактор имеет наибольшее значение для таких металлов, как алюминий, никель, цинк. В результате разрушения оксидного слоя фактически изменяются химические свойства поверхности, контактирующей с раствором, что должно сказываться на величине электродного потенциала.

Л и т е р а т у р а

- [1] Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1984, с. 211–229.
- [2] Дежкун Н.В., Прохоренко П.П. – Инж.-физ. журн., 1980, т. 3, № 1, с. 513–519.

- [3] З а р е м б о Л.К. – В кн.: Мощные ультразвуковые течения / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1968, с. 130–165.
- [4] Ф р и д р и х с б е р г Д.А. Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984, с. 189.
- [5] К н э п п Р., Д е й л и Дж., Х э м м и т Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. 687 с.

Институт прикладной физики
АН БССР, Минск

Поступило в Редакцию
12 августа 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 1

12 января 1988 г.

СТАБИЛЬНЫЙ ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ РЕЗОНАТОРА С АНТИРЕЗОНАНСНЫМ ОТРАЖАТЕЛЕМ

А. Д е р и н г а с, В. К а б е л к а, А. М и л я у с к а с

Высокий уровень флуктуаций параметров лазерного излучения, малая частота следования циклов генерации (1–5 Гц) – основные факторы, отрицательно проявляющиеся при использовании пикосекундных твердотельных лазеров с пассивной синхронизацией мод в экспериментах кинетической спектроскопии [1–3]. В данной работе исследованы энергетические, временные и спектральные характеристики пикосекундного лазера на АИГ: Nd^{3+} , работающего в режиме синхронизации мод сталкивающихся световых импульсов (СМСИ) на основе резонатора с антирезонансным отражателем [4–6].

В отличие от ранее выполненных работ [4–6] нами была рассмотрена работа лазера в режиме СМСИ при больших частотах следования циклов генерации (до 32 Гц).

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Режим СМСИ обеспечивался в лазере на АИГ: Nd^{3+} со следующей конфигурацией резонатора. Антирезонаторный отражатель был выполнен в виде разностороннего треугольника, состоящего из разделительного зеркала ($R_1 = 50\%$ для $\lambda = 1064$ нм) и двух зеркал R_2 , R_3 с отражением 99.99% для $\lambda = 1064$ нм соответственно. Между зеркалами R_2 и R_3 на управляемой линии задержки под углом Брюстера помещалась дроканиваемая кювета толщиной $d = 1$ мм с раствором красителя 3274 в этаноле. Активный элемент АИГ: Nd^{3+} размерами 4x55 помещался в квантрон К-301 с лампой накачки ДНП6/60А, который был размещен в линейной части резонатора. В качестве заднего зеркала использовалось зеркало с коэффициентом отражения $R = 87\%$. Общая длина резонатора составляла 1.3 м. Пороговая энергия, приводимая к лампе накачки, составляла 6 Дж, а энергия выделенного одиночного импульса из резонатора равнялась 1.2 мДж. Отметим, что как и в работе [5], нами наблюдалась генерация одной поперечной моды низшего индекса без применения селективирующей диафрагмы, что, по-видимому, как указано в данной