

химической технологии. Ереван 2015. С. 25-31.

5. Karakurkchi A.V., Sakhnenko M.D., Ved' M.V., Gorokhivskiy A.S., Bohdanova K.B., Stepanova I.I. Morphology and structure of ceramic-like PEO-coatings on Al alloys. In book: Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry. Kyiv: KNUTD, 2019, с.210-225.

УДК 536.48+621.35

А.П. Поспелов, доц., канд. техн. наук  
(НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков);

В.И. Белан, ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук  
(ФТИНТ им. Б.И. Веркина НАНУ, Украина, г. Харьков);

Н.Д. Сахненко, проф., д-р техн. наук  
(НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков);

А.О. Герус, мл. науч. сотр.;

Г.В. Камарчук, проф., д-р физ.-мат. наук  
(ФТИНТ им. Б.И. Веркина НАНУ, Украина, г. Харьков)

## **ИНДЕКС УСТОЙЧИВОСТИ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУРНЫХ СИСТЕМАХ**

Электрохимический эффект точечно-контактной коммутации [1] лежит в основе работы квантового точечно-контактного сенсора. Этот эффект проявляется в виде самопроизвольных циклических колебаний сопротивления помещенной в электрическое поле системы, которая содержит наноструктурный элемент – дендритный точечный контакт Янсона [2]. Дендритный точечный контакт возникает в двух-электродной электрохимической ячейке в момент соприкосновения вершины растущего на катоде дендрита с поверхностью противоэлектрода. Колебания сопротивления системы имеют также электрохимическую природу. Низкое сопротивление отмечается при наличии прямой проводимости в системе, т.е. при наличии точечного контакта, канал проводимости которого электрически соединяет оба электрода. Дальнейшая экспозиция точечного контакта в электрическом поле приводит к его разрушению и прерыванию прямой проводимости. При этом сопротивление системы резко возрастает. Прерывание прямой проводимости происходит вследствие работы бесцелевой электродной системы [3], т.е. за счет анодного растворения металла канала проводимости. Поскольку кинетика электродных процессов в значительной мере определяется составом электролита, автоколебательный процесс точечно-контактной коммутации можно использовать для создания на его основе точечно-контактного сенсорного элемента.

Непосредственной выходной характеристикой этого элемента можно считать хронорезистограмму – зависимость сопротивления системы от времени ее экспозиции в среде определенного состава. Опыт показывает, что автоколебательный процесс достаточно легко запускается в гальваностатическом режиме при токе 10 – 20 мкА. Непрерывный цикл автоколебаний может длиться 60 и более минут. За этот период возникает несколько тысяч точечных контактов Янсона. Распределение вероятностей возникновения сопротивлений в колебательном цикле, называемое гистограммой проводимости, однозначно характеризует качественный и количественный состав исследуемой среды.

Релевантность гистограммы проводимости во многом определяется качеством полученной хронорезистограммы. В свою очередь, это качество зависит от степени устойчивости автоколебательного процесса. Такая связь обусловлена тем, что торможения этого процесса вызваны переходом системы в далекое неравновесное состояние, что сопровождается ее существенными качественными трансформациями. Гистограмму проводимости, полученную в таком режиме, некорректно рассматривать как адекватную характеристику исследуемой среды.

С целью контроля качества массивов первичных данных предложен специальный параметр – *индекс устойчивости автоколебательного процесса*. Очевидно, идеальная характеристика представляет собой прямую, выходящую из начала координат, и проходящую через точку, соответствующую окончанию автоколебательного цикла. В соответствии с этим, искомый индекс определяется как

$$\alpha = \frac{2 \int_0^{\tau_{\max}} N(\tau) d\tau}{N_{\max} \tau_{\max}},$$

где  $N(\tau)$  – количество точечных контактов, возникших к моменту времени  $\tau$ ;  $N_{\max}$  – общее количество точечных контактов, возникших за период  $\tau_{\max}$  автоколебательного цикла. Принцип синтеза параметра  $\alpha$  базируется на сравнении площадей под идеальной и экспериментальной зависимостями «количество точечных контактов – время экспозиции» (рисунок).

Опыт показывает, что автоколебательные циклы с индексом  $\alpha$  менее 1,2 адекватно характеризуют энергетический профиль среды, окружающей точечно-контактную систему. Таким образом, при анализе состава окружающей среды массив 2 нельзя рассматривать как репрезентативную характеристику.

Представленный материал свидетельствует о том, что индекс устойчивости автоколебательного процесса можно рассматривать как

эффективный критерий релевантности выходной характеристики квантового точно-контактного сенсора.

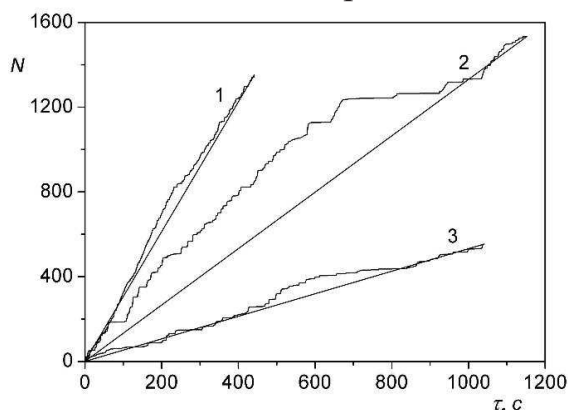


Рис. Зависимость количества  $N$  точечных контактов от времени  $\tau$  экспозиции точно-контактной системы в электрическом поле. Ломаные кривые – экспериментальные зависимости. Прямые линии – идеальные характеристики. Индексы устойчивости массивов: 1 – 1,053; 2 – 1,222; 3 – 1,067.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G.V. Kamarchuk, A.P. Pospelov, A.V. Savytskyi, A.O. Herus, Yu.S. Doronin, V.L. Vakula, E. Faulques, Conductance quantization as a new selective sensing mechanism in dendritic point contacts, *SN Applied Sciences*, 1:244 (2019).

2. A.P. Pospelov, G.V. Kamarchuk, A.O. Herus, N.D. Sakhnenko, M. Ved, V.L. Vakula, Activation mechanism of the cyclic switchover effect for quantum selective detection with dendritic Yanson point contacts. In: "Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications (Springer Proceedings in Physics book series)", 246, 627-639, 2021.

3. A.P. Pospelov, A.I. Pilipenko, G.V. Kamarchuk, V.V. Fisun, I.K. Yanson, and E. Faulques, A New Method for Controlling the Quantized Growth of Dendritic Nanoscale Point Contacts via Switchover and Shell Effects, *J. Phys. Chem. C*, 119 (2015) 632-639.