

*Е.К. ЛЕБЕДЬ*, аспирант, *А.П. ПОСПЕЛОВ*, канд. техн. наук,  
*Ю.Л. АЛЕКСАНДРОВ*, канд. техн. наук,  
*Б.И. БАЙРАЧНЫЙ*, докт. техн. наук,  
*А.И. ПИЛИПЕНКО*, студент, НТУ «ХПИ»,  
*Г.В. КАМАРЧУК*, канд. физ.-мат. наук, ФТИНТ им. Б.И. Веркина  
НАНУ, Харьков

## **ТОЧЕЧНО-КОНТАКТНЫЕ ДЕНДРИТНЫЕ СТРУКТУРЫ В ТВЕРДОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ: ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

В статті досліджена можливість створення мідних точково-контактних дендритних наноструктур в електродній системі з природним оксидом міді у якості твердого електроліту. Проведені експериментальні дослідження стабільності і газової чутливості синтезованих точкових контактів по відношенню до газової суміші, що видихає людина.

In the article it is explored the possibility of creation of copper dendrite point-contact nanostructures in the electrode system with natural copper oxide as a hard electrolyte. Experimental researches of stability and gas sensitiveness of point contacts in relation to gas, exhaled by man, were realized.

**Введение.** Интерес к совершенствованию методов и средств анализа газовых смесей обусловлен, прежде всего, актуальностью мониторинга состояния окружающей среды и необходимостью достоверного и оперативного контроля технологических режимов химических производств [1]. Дополнительным импульсом к совершенствованию послужило новое направление в медицинской диагностике, основанное на анализе газовой смеси, выдыхаемой человеком [2, 3].

Многие газоаналитические устройства новейшего поколения содержат в своем составе наноструктуры, которые характеризуются повышенной долей поверхностных атомов. Особые свойства таких атомов приводят к проявлению уникальных размерных эффектов на границе раздела фаз. Этот факт обусловил обнаруженный недавно эффект повышенной газовой чувствительности точечных контактов, доля поверхностных атомов в которых достигает предельных значений [4].

**Постановка задачи.** Эффект повышенной газовой чувствительности точечных контактов [5] инициировал исследования в направлении разработки

сенсорных устройств на основе точечных контактов. Это в свою очередь вызвало необходимость в простых, надежных и технологичных способах синтеза точечных наноструктур. Проведенные нами работы показали, что наряду с традиционными методами создания точечных контактов [6] перспективным и весьма плодотворным является электрохимический подход, поскольку он позволяет тонко управлять процессом создания контактов и получать наноструктуры со сниженным количеством дефектов.

Суть метода заключается в электрохимическом выращивании протяженного дендрита, который в месте касания вершины с противоэлектродом образует точечный контакт. В настоящей работе в качестве электролита для выращивания дендрита использован полупроводниковый поверхностный оксид с ионной проводимостью. По сравнению с жидким – такой электролит более технологичен и обеспечивает стабильность формируемых структур. В то же время осложняющим фактором использования твердого электролита является его низкая газопроницаемость. Это затрудняет проникновение анализируемого газа к точечному контакту, отделенному от анализируемой среды слоем электролита. Указанное осложнение может быть частично устранено путем изготовления газочувствительной системы специальной конфигурации, позволяющей минимизировать барьерный слой твердого электролита.

**Экспериментальная часть, результаты и обсуждение.** В качестве материала для создания точечно-контактной наноструктуры использовалась медная проволока диаметром 0,2 мм и пластина меди с содержанием основного компонента 99,99 %. Твердым электролитом служила естественная пленка оксида меди. Процесс создания точечного контакта включал ряд последовательных операций: выращивание дендрита в жидком электролите, окисление дендрита в контакте с атмосферой, выращивание дендритного точечного контакта в окисном слое. Для обеспечения доступа аналита в газочувствительную зону дендрит синтезировался модифицированным методом "игла-наковальня" [5]. Катод выполнялся из проволоки в виде заостренной иглы, а анод – в виде пластины. Между медными заостренной иглой-катодом и пластиной-анодом помещался электролит меднения. Пропускание электрического тока силой тока от 20 мкА до 100 мкА приводило к росту дендрита, и через определенное время его вершина коммутировала с противоэлектродом. Образующиеся точечные контакты имели сопротивления от 0,1 до 150 Ом. Причём, чем ниже ток формирования точечных контактов, тем выше их со-

противление. Однако при силе тока менее 20 мкА значительно снижалась частота образования необходимых наноструктур.

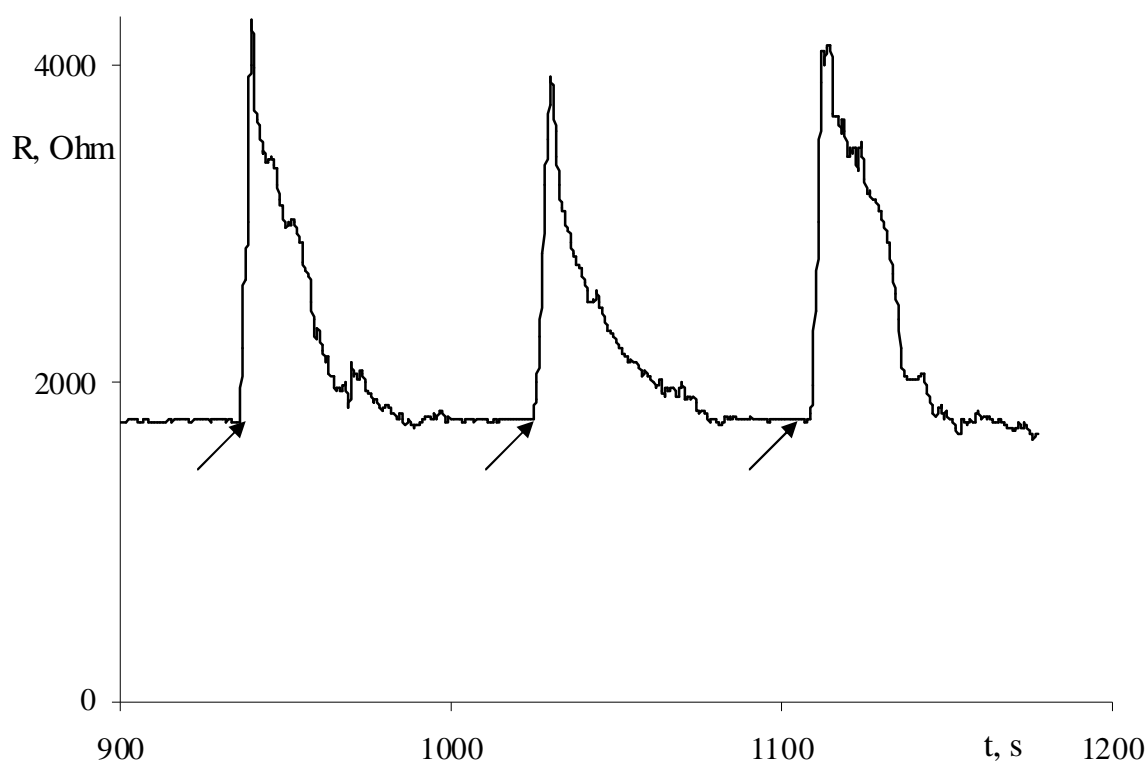


Рисунок – Изменение сопротивления точечного контакта под действием смеси газов, выдыхаемых человеком (фрагмент хронорезистограммы).

Точечный контакт экспонировался в течение 30 – 100 минут в атмосферном воздухе. Контроль природы проводимости точечной наноструктуры производился путём анализа производной вольтамперной характеристики (ВАХ). Регистрация сопротивления контакта в процессе экспозиции позволяла установить динамику окисления точечного контакта. При сквозном окислении канала точечного контакта наблюдалось резкое возрастание сопротивления ввиду смены природы проводимости. В полученном оксидном слое, обладающем ионной проводимостью, электрохимически выращивался дендрит, который формировал новый контакт в точке коммутации с противоэлектродом. Сопротивление точечных контактов находилось в пределах от 10 Ом до 2 кОм.

Воздействие газовой смеси, выдыхаемой человеком, на образовавшийся точечный контакт приводило к возрастанию сопротивления наноструктуры в

2 – 5 раз. Характерный вид кривых отклика сенсора представлен на рисунке. Воздействия на рисунке указаны стрелками. В серии параллельных опытов было установлено, что время отклика на действие смеси выдыхаемых газов находилось в пределах 1 – 5 секунд, время релаксации не превышало 100 секунд. Относительное увеличение сопротивления под воздействием газовой смеси, выдыхаемой человеком, составляло от 50 до 250 % от базового значения сопротивления.

**Выводы.** Созданы дендритные точечные контакты принципиально новой архитектуры, существенно снижающей барьерные свойства слоя электролита между чувствительной зоной и анализируемым газом. Наноструктуры, сформированные в поверхностном слое оксида меди, проявляли чувствительность по отношению к газовой смеси, выдыхаемой человеком. Полученные результаты позволяют рассматривать точечные контакты как перспективные объекты для использования в газоаналитических приборах и устройствах для неинвазивной диагностики состояния человека.

**Список литературы:** 1. Каттралл Р.В. Химические сенсоры. – М.: Научный мир, 2000. – 144 с. 2. A. Amann, D. Smith (Eds.). Breath Analysis for Medical Diagnosis and Therapeutic Monitoring. – Singapore: World Scientific, 2005. – 529 p. 3. Kuzmich O. et al. Carbon nanotube sensors for exhaled breath components. // Nanotechnology. – 2007. – Vol. 18, № 3. – P. 7 – 12. 4. M.I. Baraton. Synthesis, Functionalization, and Surface Treatment of Nanoparticles. – Los-Angeles: Am. Sci., 2002. 5. G.V. Kamarchuk, O.P. Pospelov, A.V. Yeremenko et al. Point-contact sensors: New prospects for a nanoscale-sensitive technique // Europhys. Lett. – 2006. – Vol. 70, № 4. – P. 575 – 581. 6. Yu.G. Naidyuk, I.K. Yanson. Point-Contact Spectroscopy. – New York: Springer Verlag, 2004. – 300 p.

Поступила в редколлегию 28.02.08