

А.Д. Мурадов, Ж.К. Чушбекова, К. Б. Сарсенбаева

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

## СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ СЕРЕБРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОНТАКТОВ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Аннотация.** В работе определены режимы синтеза наноразмерного порошка серебра методом электроэрозионной обработки на установке №12-6. Предложенная технология позволяет получать нано- и субмикронные частицы серебра для получения токопроводящих контактов фотовольтаических элементов. Получены токопроводящие слои толщиной 30-50 мкм с общей пористостью 0,86 и относительной электропроводностью слоев 0,85 от электропроводности массивного серебра.

**Ключевые слова:** синтез, наноразмерный порошок, серебро, электроэрозионный метод, электропроводящие контакты.

### Введение

Одним из перспективных материалов, проявляющим новые свойства в наноразмерном состоянии, является серебро. Нанокристаллическое серебро обладает широким спектром применения: его можно использовать в качестве антибактериальных препаратов, сенсоров различных газов и нуклеиновых кислот, а также для создания токопроводящих контактов в электронике.

В связи с этим возникает интерес получения наночастиц серебра с заданными характеристиками [1] с целью создания из них токопроводящих контактов.

### Теоретические расчеты

В данной работе в качестве исходного материала использовался нанопорошок серебра, полученный электроэрозионным методом. Схема установки №12-6, работающая на электроэрозионном методе, представлена на рисунке 1.

На сегодняшний день это наиболее распространенный тип установок получения наночастиц серебра и других благородных металлов. Предложенная установка отличается высокой производительностью, высокой степенью автоматизации, но в тоже время, как и в случае электровзрывного метода, себестоимость получаемых продуктов высока. Альтернативой используемой технологии может быть метод электроискровой эрозии серебряных гранул в жидких средах. Суть метода заключается в том, что на гранулы серебра подаются

импульсы напряжения длительность 15-20 мкс и амплитудой 500В. В результате в объеме гранул возникают множественные искровые разряды в результате чего происходит плавление и испарение материала гранул с последующим формированием в жидкой среде нано- и субмикронных частиц металлов. Соответствующая схема процесса, а также механизм образования наночастиц под воздействием искровых разрядов представлена на рисунке 2.

Метод отличается очень высокой производительностью и низкой себестоимостью, стоимость получаемого продукта чрезвычайно мала, т.е. энергия затрата минимизированы, порошок получается распределением частиц соответствующему оптимальному распределению для процессов спекания. Данный метод сразу позволяет готовить «чернила» в самом эрозионном реакторе, т.е. исключается дополнительная стадия приготовления «чернил».

Для полученных частиц были проведены следующие исследования:

1) Определен фазовый состав полученных частиц методом рентгенофазового анализа с использованием прибора Shimadzu XRD-6000 с  $\text{CuK}\alpha$ -излучением. Скорость сканирования 2 град/мин, снимали в интервале углов  $2\theta$  10-100° с шагом сканирования 0,02°.

2) Изучена морфология частиц с использованием просвечивающей электронной микроскопии на ЭМ-125.

### Экспериментальная часть

В качестве электроэрозионного реактора использовали керамический стакан объемом 1 л. На дно стакана насыпали серебряные гранулы цилиндрической формы со средними размерами: 10 мм длина и 3 мм диаметр. Общая масса гранул – 200 г. В реактор заливалась дисперсионная среда – дистиллированная вода объемом 1 л. В объеме гранул размещались тоководные электроды, которые располагались оппозитно друг другу на расстоянии 7 см. Тоководные электроды подключались к источнику импульсного питания, который формировал импульсы тока со следующими характеристиками: энергия импульса - 0,5 Дж, амплитуда импульса напряжения – 450-500 В, длительность импульса – 15-20 мкс. Частота следования импульсов – 400 имп./с. Импульс имел прямоугольную форму с крутым восходящим фронтом. Типичная осциллограмма импульса представлена на рисунке 2. Общее энергопотребление установки составила 2 кВт\*ч.

При получении порошков была определена зависимость выхода электроэрозионных частиц. Согласно полученным данным масса эродированных частиц прямо пропорциональна количеству пропущенных импульсов тока:

$$m_{Ag} = kn,$$

где  $n$  – количество импульсов тока,  $k$  – эмпирическая константа. Показывающая количество эродированного серебра за единичный импульс [мг/имп.]. Значение  $k$  составило 65 мг/имп.

В результате проведения электроискровой эрозии образовывалась водная суспензия серого цвета, из которой методом седиментации выделялись частицы серебра. Далее полученные порошки сушились в вакуумном сушильном шкафу.

Были получены водные суспензии (содержанием серебра 96-97%) из полученных частиц. Позже из них методом трафаретной печати были нанесены слои на образцы солнечных стеклянных элементов (фотопроводящий слой – диоксид олова) и на образец низкопористой алюмооксидной керамики. Полученные слои были прогреты в муфельной печи при 250-300°C. Для полученных токопроводящих слоев были

исследованы их толщина и морфология с использованием метода сканирующей электронной микроскопии и проведена первичная оценка электропроводящих свойств полученных слоев.

На рисунке 3 представлены электронно-микроскопические снимки полученных частиц серебра.

Как видно из полученных изображений для продуктов электроискровой эрозии серебрянных гранул характерно образование как наноразмерной фракции (рисунок 3(а)), так и микроных частиц (рисунок 3(б)). Соотношение нано- и микроразмерной фракции по массе составило 1/4. Данное соотношение наиболее оптимально с точки зрения получения наиболее оптимальных по плотности и электропроводности слоев серебра.

На рисунке представлены данные электронной микроскопии. Приведенным изображениям отмечается образование мостиков между частицами на участке температур 150-250°C и постепенным их утолщением при 300-500°C.

Измерение электропроводности полученных слоев показало, что их удельная электропроводность составила (с учетом толщины слоя) 52,9 - 53,5 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>.

### Выводы

1. Предложены токовые режимы получения нано- и субмикронных частиц серебра для технологии электроэрозионного метода с целью создания токопроводящих контактов фотовольтаических элементов, причем соотношение нано- и микроразмерной фракций по массе составило 1/4.

2. На основании полученных частиц получены токопроводящие слои толщиной 30-50 мкм с общей пористостью 0,86 и относительной электропроводностью слоев 0,85 от электропроводности массивного серебра.

### Список литературы

1 Braimov M. Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology / M. Braimov, V.V. Konchits, N.K. Myshkin // CRC Press, New York. -2006. -639 p.

2 C.H. Loa, T.T. Tsung, H.M. Lin.  
Preparation of silver nanofluid by the  
submerged arc nanoparticle synthesis system

(SANSS)// Journal of Alloys and Compounds  
2007. V. 434–435, №2. P. 659–662

Принято в печать 25.02.2015

### Приложение 1

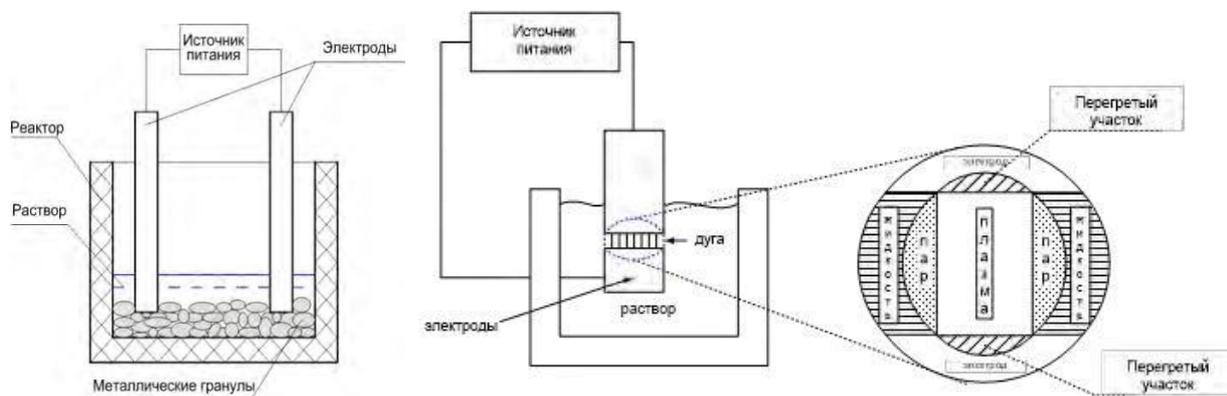


Рис. 1. Схема электроэрозионной установки и механизм воздействия искровых разрядов на поверхность металлических гранул и дисперсионную среду [2]

### Приложение 2

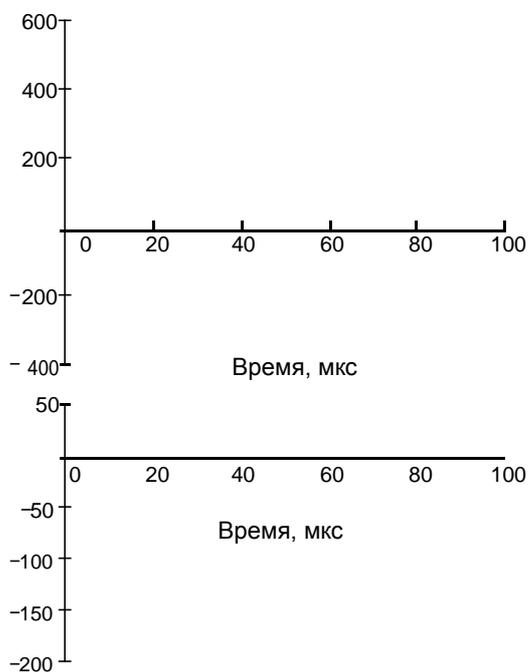


Рис. 2. Осциллограмма импульсов тока и напряжения

### Приложение 3

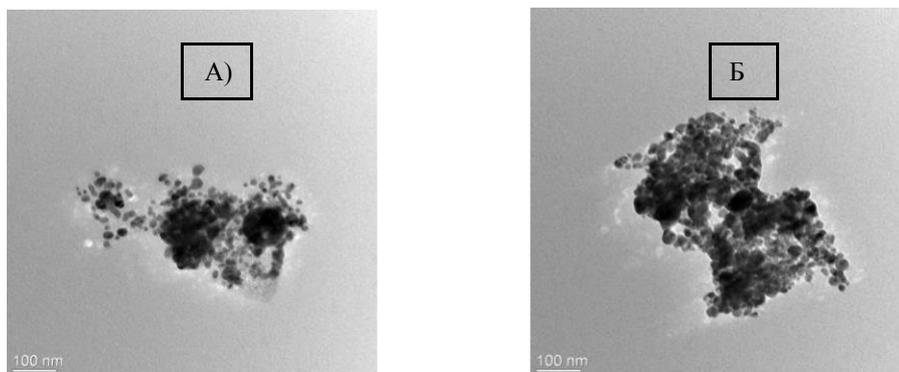


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение частиц серебра полученные в режиме просвечивающей электронной микроскопии: а)– наноразмерные частицы, б)-микроразмерные частицы

#### Приложение 4

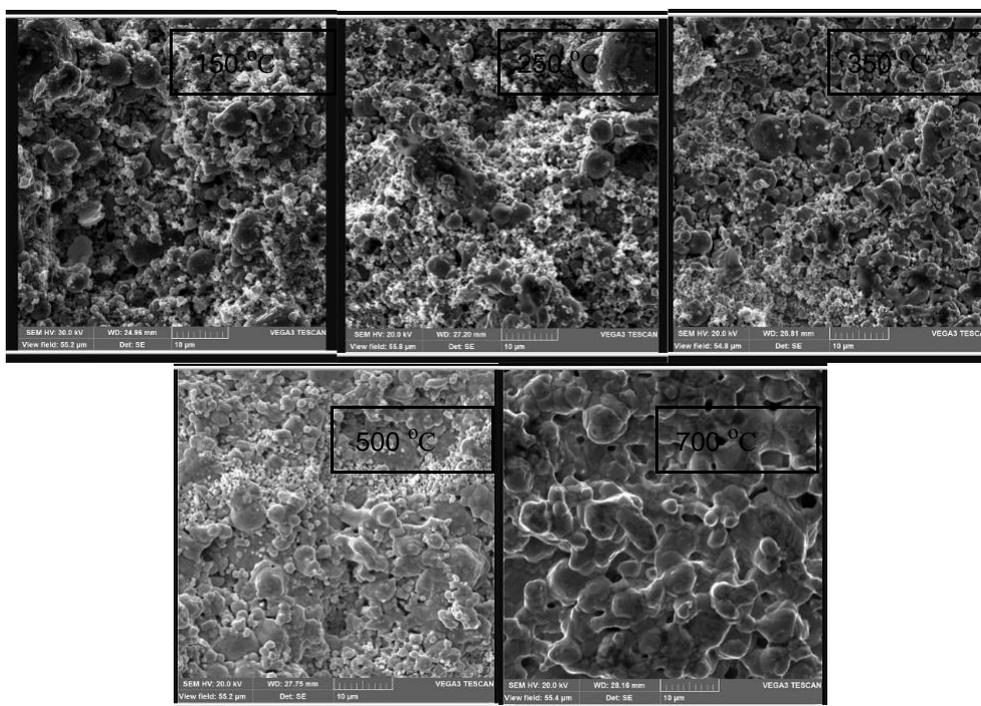


Рис. 4. Электронно-микроскопические изображения частиц серебра спеченных при разных температурах

#### Приложение 5

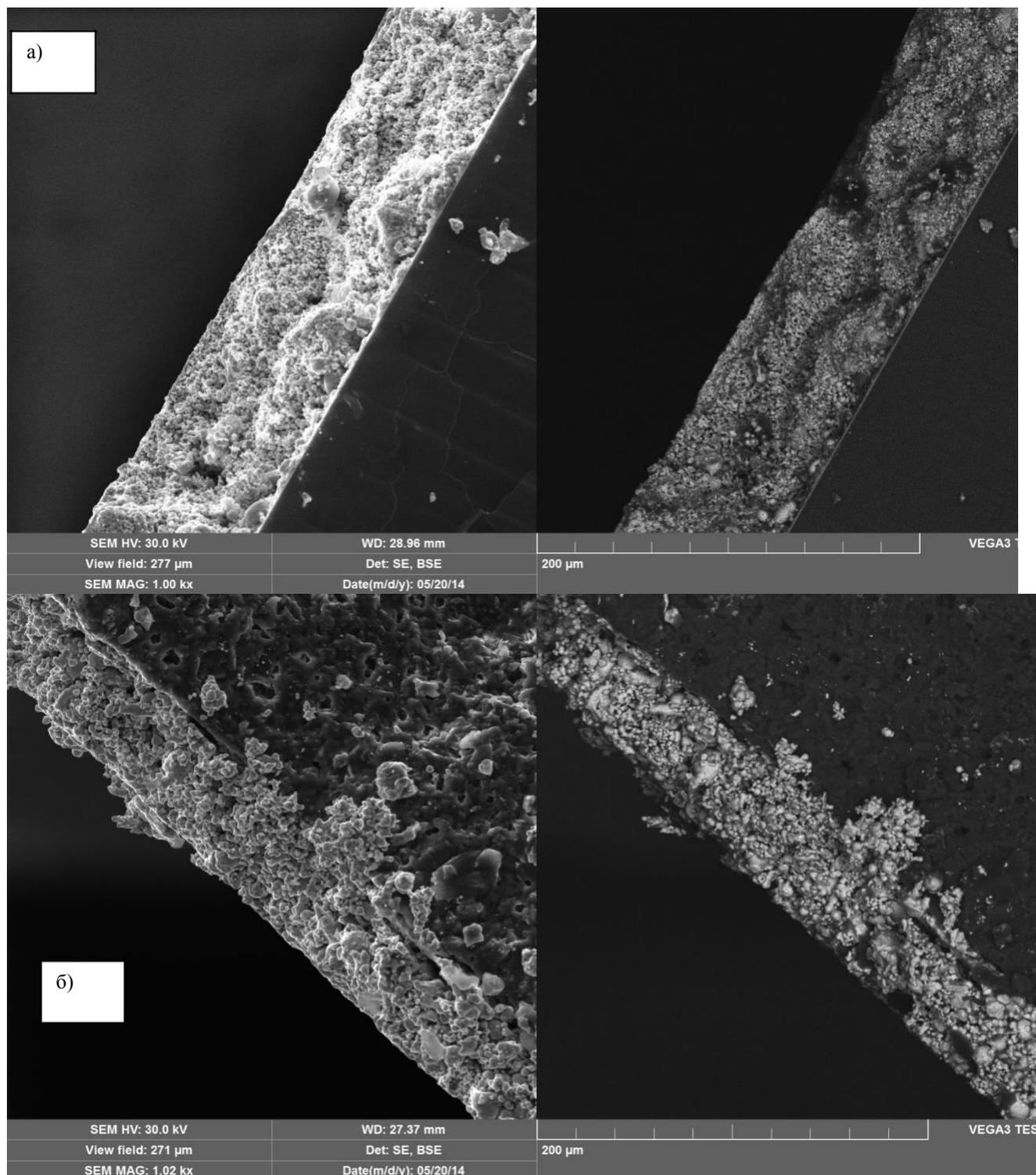


Рис. 5. Электронно-микроскопические изображения слоев спеченных на поверхности:  
а) фотовольтаического элемента, б) низкопористой керамики

**А.Д. Мурадов, Ж.К. Чушбекова, К. Б. Сарсенбаева**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан*

## **СИНТЕЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ СЕРЕБРА ДЛ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОНТАКТОВ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Аннотация.** В работе определены режимы синтеза наноразмерного порошка серебра методом электроэрозионной обработки на установке №12-6. Предложенная технология позволяет получать нано- и субмикронные частицы серебра для получения токопроводящих контактов фотовольтаических элементов. Получены токопроводящие слои толщиной 30-50 мкм с общей пористостью 0,86 и относительной электропроводностью слоев 0,85 от электропроводности массивного серебра.

**Ключевые слова:** синтез, наноразмерный порошок, серебро, электроэрозионный метод, электропроводящие контакты.

**А.Д. Мурадов, Ж.К. Чушбекова, К. Б. Сарсенбаева**

## **ФОТОВОЛЬТАИКАЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕН ЭЛЕКТРӘТКІЗГІШТІК КОНТАКТ АЛУ ҮШІН НАНОӘЛШЕМДІ КҮМІС ҰНТАҒЫНЫҢ СИНТЕЗІ**

**Аннотация.** Бұл жұмыста №12-6 құрылғымен электроэрозиондық әдіспен алынған наноәлшемді күміс ұнтағы синтезінің режимдері белгіленді. Ұсынылған технология фотовольтаикалық элементтен электрәткізгіштік контакт алу үшін күмістің нано- және субмикронды бөлшектерін алуға мүмкіндік береді. Қалыңдығы 30-50 мкм, кеуектілігі 0,86 болатын және күмістің массивті электрәткізгіштігіне қабаттың салыстырмалы электрәткізгіштігі 0,85 болатын электрәткізгіштік қабат алынды.

**Тңйін сәздер:** синтез, наноәлшемді ұнтағы, күміс, электроэрозиондық әдіс, электрәткізгіштік контактар.

**A.D. Muradov, Zh.K. Chushbekova, K. B. Sarsenbayeva**

*Al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

## **SYNTHESIS OF NANOSIZE POWDERS OF SILVER FOR THE RECEIPT OF ELECTRO-CONDUCTING CONTACTS OF PHOTOVOLTAIC ELEMENTS**

**Abstract:** It was determined the modes of synthesis of nano-sized silver powder by electrical discharge machining to install №12-6. The offered technology allows to receive nano- and submicronic particles of silver for receiving conducting contacts the fotovoltaicheskikh of elements. Conducting layers 30-50 microns thick with the general porosity 0,86 and relative conductivity of layers 0,85 are received from conductivity of massive silver.

**Keywords:** syntheses, nano-sized, silver, powder, electrical discharge machining method, electro-conducting contacts.