

УДК 544.654.2

Т.А. Гевел,  
С.И. Жук,  
А.В. Суздальцев, канд. хим. наук  
Ю.П. Зайков, проф., д-р хим. наук  
(УрФУ, г. Екатеринбург)

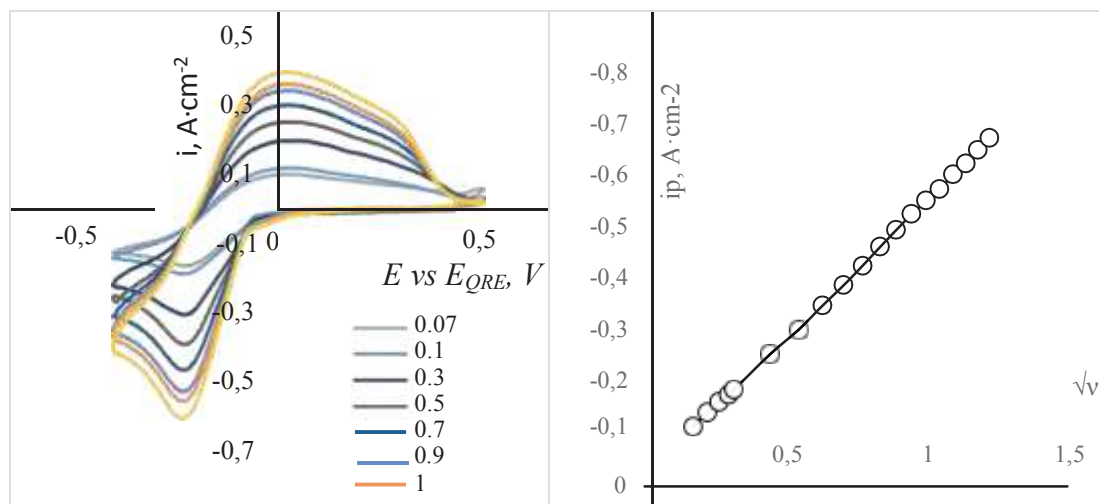
## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ КРЕМНИЯ ИЗ РАСПЛАВА KCl-CsCl-K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>

В последнее время набирает популярность развитие альтернативных источников энергии. Однако для ее развития необходимо наличие технологии дешевого и эффективного способа получения кремниевых материалов. На сегодняшний день промышленно реализованы газодиффузионные методы (Сименс-процесс) и методы, основанные на упорядоченной кристаллизации (метод Чохральского). Однако данные методы дорогостоящие и требовательные к чистоте исходных компонентов. Поэтому многие исследовательские группы стремятся получить высокочистый кремний электролизом расплавленных солей с кремнийсодержащими добавками (SiCl<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, SiO<sub>2</sub> и др.) [1-3].

Целью исследования является установление возможности получения кремниевых материалов из расплава KCl-CsCl-K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, позволяющего сократить содержание химически агрессивных фторидные компоненты в своем составе.

Эксперименты проводили в герметичной кварцевой ячейке в атмосфере высокочистого аргона. Для определения параметров электроосаждения кремния предварительно исследовали кинетику его электровосстановления на стеклоуглероде из расплава (мол.%) 60KCl-40CsCl с добавкой до 0.18 мол.% K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> при 690°C. Исследования проводили при помощи циклической вольтамперометрии с использованием PGSTAT AutoLAB и ПО Nova 1.11 (The Metrohm, Нидерланды). Квазиэлектродом сравнения и противоэлектродом во всех экспериментах служил кремний.

На рисунке 1 представлены циклические вольтамперограммы для системы KCl-CsCl (60-40 %моль), содержащей 0.18% моль. K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> при температуре 690°C, характеризующие процесс осаждения/растворения кремния на поверхности стеклоуглерода. В катодной области вольтамперограмм в области потенциалов от -0.1 до -0.35 В наблюдается один катодный пик, соответствующий одностадийному процессу электровосстановления кремния.



**Рисунок 1 – Вольтамперограммы, полученные на стеклоуглеродном электроде в расплаве (мол.%) 60KCl-40CsCl с 0.18 мол.%  $K_2SiF_6$  при температуре 690°C и скорости развертки потенциала от 0.01 до 1 В/с**

На основании уравнения Бержинса-Делахея [4] была построена диагностическая зависимость  $i_p \cdot v^{0.5}$ , представленная на рисунке 1. Ток пика линейно увеличивается с ростом корня скорости развертки потенциала, а величина отсекаемого отрезка по оси ординат не превышает 5% углового коэффициента функции, что указывает на протекание исследуемого процесса в условиях лимитирования доставкой электроактивного вещества к поверхности электрода. По уравнению Бержинса-Делахея был оценен коэффициент диффузии электроактивных кремнийсодержащих ионов к катоду, величина которого составила  $1.13 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ .

Кремниевые материалы осаждали на стеклоуглеродном электроде в гальваностатическом режиме при плотностях тока 25-50  $\text{mA} \cdot \text{см}^{-2}$ . Осаждение производили с растворимым анодом в течении 12 часов. Цвет полученных осадков бежевый, и с уменьшением плотностей тока наблюдался переход цвета от бежевого к охре. Полученный осадок плохо удерживается на поверхности электрода. Результаты электролизных испытаний представлены на рисунке 2.



А



Б

**Рисунок 2 – Кремний полученный электровостановлением из расплава  $\text{KCl-CsCl}$  с 0.18 мол.%  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  при температуре  $690^\circ\text{C}$  и разной катодной плотности тока: А –  $50 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ; Б –  $25 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ .**

Работа выполнена в рамках соглашения №075-03-2020-582/1 от 18.02.2020 (номер темы 0836-2020-0037).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Junli X. Electrodeposition of solar cell grade silicon in high temperature molten salts / X. Junli, G.M. Haarberg // High Temp. Mater.– 2013.– Vol. 32. – P. 97-105.
2. Kouji Y. Direct electrolytic reduction of solid  $\text{SiO}_2$  in molten  $\text{CaCl}_2$  for the production of solar grade silicon / Y. Kouji, N. Toshiyuki, H. Rika, H. Yukio // Electrochimica A.– 2007. – Vol. 53. – P. 106-110.
3. Зайков Ю.П. Электроосаждение кремния из расплава  $\text{KF-KCl-KI-K}_2\text{SiF}_6$  / Ю.П. Зайков, С.И. Жук, А.В. Исаков, О.В. Грищенкова, В.А. Исаев // Расплавы. – 2016. – №5. – С. 441–454.
4. Электроаналитические методы. Теория и практика / Ред. Ф. Шольц. Пер. с англ. Под ред. В.Н. Майстренко. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 326 с.