

Отзыв

Официального оппонента на диссертационную работу Жука Сергея Ивановича «Кинетика электровосстановления кремния в галогенидных расплавах», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.6. Электрохимия

Актуальность темы исследования

Кремний находит широкое применение в электротехнике, энергетике, металлургии и других отраслях промышленности. Он используется в качестве материала для изготовления элементов солнечных батарей, высокоэффективных анодов литий-ионных аккумуляторов. Традиционные методы получения кремния (осаждение из газовой фазы) требуют высоких энергозатрат и сложны в техническом исполнении. По сравнению с ними электрохимический метод имеет ряд преимуществ: относительно простое аппаратное оформление, невысокие расходы на подготовку материалов и сырья, низкие температуры, возможность управлять параметрами процесса варьированием токовой нагрузки.

Для получения кремния с различной структурой и морфологией необходимы данные о механизме и кинетике электродных процессов, влиянии фазообразования и параметров электролиза на структуру и морфологию осадка. Имеющиеся в литературе сведения об этом скупы и противоречивы. Так, например, остается дискуссионным вопрос о механизме выделения кремния на инертных и реактивных подложках. Мало внимания уделено начальным стадиям процесса фазообразования выделяющегося металла. В связи с этим диссертационная работа Жука Сергея Ивановича, посвященная изучению кинетики и механизма электроосаждения кремния в среде расплавленных солей, несомненно актуальна.

Научная новизна и теоретическое значение работы

Новизной и теоретической значимостью обладают следующие результаты работы:

1. Установлен механизм электровосстановления кремния на стеклоуглероде и серебре в расплавах на основе $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$.
2. Выявлено влияние добавок диоксида кремния и гидроксида калия на кинетику катодного процесса в расплавах $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$.
3. Установлено, что электроосаждение кремния на стеклоуглероде протекает по механизму нуклеации/роста.
4. Определено значение коэффициента диффузии кремнийсодержащих ионов в расплавах $\text{KCl-K}_2\text{SiF}_6$ и $\text{KF-KCl-KI-K}_2\text{SiF}_6$.

Практическая значимость работы

Получены сплошные поликристаллические однофазные кремниевые покрытия на графите, стеклоуглероде, серебре и вольфраме при электроосаждении из $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$. Подтверждено отсутствие взаимодействия кремниевого осадка с углеродной подложкой при температурах от 943 до 1103 К.

Результаты проведенных исследований представляют интерес для научных сотрудников и технологов, занимающихся вопросами разработки способов получения кремниевых материалов в расплавах смесей галогенидов щелочных металлов.

Достоверность и обоснованность результатов исследования

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием комплекса апробированных современных экспериментальных электрохимических (циклическая вольтамперометрия, хроноамперометрия) и физико-химических (сканирующая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, спектроскопия комбинационного

рассеивания) методов, воспроизводимостью и взаимосогласованностью результатов.

Обоснованность результатов диссертации обусловлена соответствием полученных данных основным научным положениям, разработанным ведущими учеными в области электродных процессов в расплавах.

Содержание диссертации, ее завершенность

Диссертационная работа представляет собой логично выстроенное и завершенное исследование механизма и кинетики электрохимического восстановления кремния в расплавах на основе $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$. Вызвало интерес сопоставление электроосаждения кремния на взаимодействующих (Ni) и не взаимодействующих (стеклоуглерод, графит, вольфрам, серебро) с ним подложках. Большое внимание в работе уделено изучению начальных стадий электроосаждения кремния на чужеродной подложке, очень скупо освещавшееся в литературе. Полученные результаты изложены автором на 108 страницах машинописного текста и представлены 40 рисунками, 4 таблицами. Каждая из 3 глав диссертации заканчивается обобщениями, наиболее существенные результаты и выводы представлены в конце работы.

Список использованной литературы включает 89 источников, отражающих последние достижения в области исследования механизма и кинетики электровосстановления кремния в галогенидных расплавах и получения кремниевых осадков. По объему и структуре работа соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Результаты работы достаточно полно представлены в печати: опубликовано 6 статей в журналах из перечня ВАК, 6 публикаций в материалах конференций Всероссийского и международного уровня. Диссертация по содержанию и качеству соответствует опубликованным в печати работам. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом

Диссертация написана грамотным научным языком, хорошо оформлена. Текст диссертации выверен, но встречаются отдельные опечатки и стилистические неточности. Представленные рисунки хорошо оформлены. Основному содержанию каждой главы предшествует анализ проблемы и трудности в ее решении, из которых закономерно вытекают поставленные цели и полученные результаты. Отдельные главы между собой логически связаны. При чтении возникли следующие замечания:

При ознакомлении с диссертацией возникли следующие вопросы:

1. Чем обусловлен выбор расплава на основе $KF-KCl-K_2SiF_6$?
2. Как можно объяснить влияние добавления иодида калия в расплав на структуру получаемых осадков, в то время как на кинетику и механизм добавление не оказывает влияния?
3. Какова причина формирования «нуклеационной петли» на вольтамперометрических зависимостях?
4. Как соотносятся размеры кристаллов кремния на рисунке 2.8 с временем осаждения? Насколько близки размеры на рисунке к теоретическим, рассчитанным на основе учета количества пропущенного электричества?
5. Учитывалось ли изменение площади электрода при длительном электролизе?

Отмеченные замечания не снижают общего хорошего впечатления о диссертационной работе, которая представляет собой законченное научное исследование, выполненное по актуальной тематике.

Заключение

Диссертация Жука Сергея Ивановича на тему «Кинетика электровосстановления кремния в галогенидных расплавах» является

завершенной квалификационной работой, в которой решена научная задача, важная для развития электрохимии кремния в расплавах на основе $KF-KCl-K_2SiF_6$: установлены кинетические закономерности катодного восстановления кремния на электродах разной природы, знание которых необходимо при разработке электрохимических способов получения этого материала, востребованного во многих областях современной техники.

Диссертация соответствует критериям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в действующей редакции.). Автор диссертационной работы Жук Сергей Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.6. Электрохимия.

Официальный оппонент, доктор химических наук
(диссертация по специальности 02.00.05 – Электрохимия),
профессор, заведующий кафедрой неорганической и
физической химии ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский
государственный университет им. Х.М. Бербекова»



Кушхов Хасби Билялович

06.12.2023

360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик,
ул. Чернышевского, № 173

Телефон +79287196727

E-mail: hasbikushchov@yahoo.com

Подпись Кушхова Х.Б. заверяю
ученый секретарь КБГУ
доктор филологических наук, профессор



И.В. Ашинова