

военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения (Минск, 16–17 мая 2019 г.): сборник научных статей. В 5 ч. Ч. 5 / Государственный военно-промышленный комитет Республики Беларусь. – Минск: Лаборатория интеллекта, 2019. – 100 с. – С. 97–99.

ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ АНОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Nevar A. A.¹, Nedelko M. I.¹, Tarasenko N. V.¹, Chen G.², Shi L.²

¹ B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus

²NanoScience and Technology Research Center, College of Sciences,
Shanghai University

a.nevar@ifanbel.bas-net.by

Annotation. One of the key challenges of modern technology is the development of efficient methods for producing and storing energy. Against the backdrop of the intensive development of a new generation of alternative “green” energy, developments in the field of improving lithium-ion batteries seem relevant and promising. However, since currently used graphite-based anode materials are limited by theoretical specific capacity values (372 mAh/g), the development of new materials for application in lithium-ion battery technology is in high demand. Silicon-based materials with a high theoretical capacity of 4200 mAh/g are being considered as a promising alternative to graphite. However, the practical use of silicon anodes is difficult due to the significant volumetric expansion of silicon (~400 %) during repeated lithiation/delithiation, which leads to instability of the resulting electrode materials. Si-C nanocomposite anode materials have been proposed as a solution due to their high capacity and stability.

Одной из ключевых задач современных технологий является разработка эффективных методов производства и хранения энергии. На фоне интенсивного развития нового поколения альтернативной «зеленой» энергетики разработки в области совершенствования литий-ионных аккумуляторов кажутся актуальными и перспективными. Однако, поскольку используемые в настоящее время анодные материалы на основе графита ограничены теоретическими значениями удельной емкости (372 мАч/г), разработка новых материалов для применения в технологии литий-ионных аккумуляторов пользуется большим спросом. Материалы на основе кремния с высокой теоретической емкостью 4200 мАч/г рассматриваются как перспективная альтернатива графиту [1; 2]. Однако практическое использование кремниевых анодов затруднено из-за значительного объемного расширения кремния (~400 %) при многократном литиировании/делитиировании, что приводит к нестабильности получаемых электродных материалов.

В последние годы успешно развиваются электроразрядные методы получения и обработки низкоразмерных порошков металлов, их оксидов и карбидов в жидкофазных средах. Электроразрядная обработка может приводить к модификации по-

верхности частиц порошка, изменению их стехиометрического состава и микро-структуры, формы и дисперсности, удалению адсорбированных примесных элементов с поверхности частиц, генерации в них линейных и точечных дефектов.

Предварительные эксперименты по электроразрядной модификации смеси микрочастиц кремния и графита, полученных при измельчении объемных материалов показали возможность создания образца с удельной емкостью около 1200 мАч/г, которая быстро снижалась в первые 20 циклов. Такая плохая производительность была связана с крупными частицами кремния.

В данной работе анодный материал синтезировали путем плазменной модификации микропорошков кремния и смеси кремния и спектрально чистого графита под действием электрического разряда в этаноле. Промышленный порошок кремния состоял из субмикронных сферических частиц со средним размером 250 нм.

Для проведения экспериментов по электроразрядной модификации порошков использовали модифицированный источник питания на базе генератора переменного тока в режиме высоковольтной искры. Электрические разряды инициировались между двумя вольфрамовыми электродами диаметром 6 мм. Нижний электрод уплотняли на дне конусообразной емкости, в которую насыпали обрабатываемый порошок и наливали этиловый спирт. Длина зазора между электродами составляла 1,5 мм. При данной форме кюветы частицы, выносимые из зоны разряда, оседая на наклонные стенки, под действием силы тяжести вновь оказывались в зоне разряда. Такая конструкция разрядного реактора позволяла проводить обработку частиц в течение необходимого временного интервала.

Высоковольтный электрический разряд в суспензии микропорошков в углеводородной жидкости приводил к существенному изменению дисперсности за счет измельчения частиц. Использование в качестве рабочей среды углеводородной жидкости также способствует их дроблению без окисления, при этом образующийся углерод может принимать активное участие в твердофазных реакциях с компонентами порошка, приводя к образованию карбидных фаз.

ПЭМ-исследования модифицированных образцов подтверждают образование мелких сферических частиц со средним размером 2–5 нм.

В спектрах комбинационного рассеяния модифицированных частиц кремния наблюдался сдвиг характеристической линии кристаллического кремния относительно ее положения для объемного материала ($\sim 520 \text{ см}^{-1}$). После электроразрядной модификации оксидных включений кремния не зарегистрировано. Наблюдаемые широкие пики с максимумами при 296 см^{-1} и 940 см^{-1} , соответствуют поперечной акустической моде второго порядка (2ТА) и поперечной оптической фононной моде второго порядка (2ТО), соответственно. Также регистрировались полосы D и G углерода ($\sim 1390 \text{ см}^{-1}$ и $\sim 1600 \text{ см}^{-1}$).

Работа профинансирована Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований (Грант Ф22КИТГ-007).

Список использованных источников

1. M. Gu, et al., Nano Energy (2015) 17, 366–383.
2. A. M. Leonova, et al., Appl. Sci. (2023), 13, 901.