

Кремниевые аноды нового поколения



Спрос на литий-ионные накопители с высокой плотностью энергии — от электромобилей до портативной электроники — упирается в возможности существующих материалов. Кремний считается одним из самых перспективных кандидатов для анода: его теоретическая емкость достигает 4200 мА·ч/г, что на порядок выше, чем у коммерческого графита. Однако практическому применению мешают три проблемы: сильное расширение (до 400%) при литировании, неконтролируемый рост межфазного слоя (SEI) и низкая собственная проводимость.

Международная группа исследователей, в состав которой вошли специалисты СПбПУ, в журнале *ACS Applied Nano Materials* (квартиль Q1) описала создание композита Si/rGO@3DHP-TiO₂, где наночастицы кремния заключены в трехмерную иерархически пористую матрицу из диоксида титана, модифицированную восстановленным оксидом графена.

Суть в особой архитектуре. TiO₂ служит жестким, но упругим каркасом: при литировании он расширяется менее чем на 4%, эффективно сдерживая деформацию кремния. Авторы показали, что именно TiO₂ способствует формированию тонкого и стабильного SEI, что

напрямую сказывается на долговечности электрода. Встроенный в структуру матрицы rGO решает проблему проводимости и создает дополнительные проводящие интерфейсы. А макропоры (около 420 нм) и мезопоры (3,5 нм) служат каналами для быстрой диффузии ионов лития и электролита.

Результаты подтверждают эффективность такого подхода. Анод Si/rGO@3DHP-TiO₂ выдал 741,6 мА·ч/г при плотности тока 5 А/г. После 1000 циклов при 2 А/г емкость оставалась на уровне 645,7 мА·ч/г. Чтобы оценить прикладной потенциал, исследователи собрали два типа устройств: гибридный литий-ионный конденсатор с активированным углем (катод) и полноценную батарею с катодом из LiFePO₄. В первом случае достигнуты энергия 152,1 Вт·ч/кг и мощность 10191,1 Вт/кг, во втором — 91% сохранения емкости после 500 циклов при 1 °C.

Авторы заключают, что предложенная архитектура, объединяющая механическую стабилизацию за счет TiO₂, электропроводность rGO и оптимизацию массопереноса благодаря иерархической пористости, позволяет обойти ключевые ограничения кремниевых анодов. Это открывает путь к созданию высокоэффективных накопителей энергии следующего поколения.

Оригинал статьи: [*Hierarchically Porous and Conductive Interface via the rGO-TiO₂ Framework Enabling a High-Performance Silicon Anode. ACS Applied Nano Materials, 2026, Volume 9, Issue 3, pp. 1620-1632.*](#)