

Получение, свойства и применения аморфного углеродного материала - кластерного углерода

Гуревич С.А.¹, Платонов А.В.¹

gurevich@quantel.ioffe.ru

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт Петербург, Россия

В докладе обсуждаются методы получения, а также необычные свойства аморфного углеродного материала, состоящего из малых, 20-30 атомов, кластеров углерода. Основной метод получения такого материала - кластерного углерода (cl-C) - лазерная абляция углеродной мишени в вакууме. Обсуждаются электрохимические свойства cl-C и перспективы его применения в литий- и натрий-ионных аккумуляторах.

С использованием атомно-силовой микроскопии показано, что размеры кластеров углерода в составе материала cl-C не превышают 1 нм, при том, что основная масса кластеров содержит не более 20-30 атомов. При случайной укладке таких кластеров формируется аморфный углеродный материал, в котором, по данным РФЭС, соотношение долей связей $sp^3/sp^2 \sim 0,1$. Особенностью структуры материала является наличие иерархии пор с размерами от долей нанометра, до десятков и сотен нанометров. Другая важная особенность структуры связана с тем, что, как показывают детальные квантово-химические расчеты, малые кластеры углерода могут находиться в метастабильном состоянии, которое характеризуется значительной величиной избыточной внутренней энергии, до 1 эВ/атом. По этой причине материал cl-C, сразу после его формирования, обладает значительной избыточной внутренней энергией. К числу необычных свойств материала, определяющих широкие возможности его практического применения, можно отнести сочетание высокой проводимости, как у графита, с исключительно высокой твердостью, почти как у алмаза. Кроме того, показано, что материал обладает необычайно высокой химической инертностью. Совокупность этих свойств позволяет рассматривать кластерный углерод в качестве нового типа углеродного материала.

Эксперименты показали, что кластерный углерод обладает уникальными электрохимическими свойствами. Например, показано, что материал обладает высокой удельной емкостью, более 600 мАч/г, при интеркаляции ионов лития и 300 мАч/г по ионам натрия. Для практических применений в литий-ионных и, в особенности, в перспективных натрий-ионных аккумуляторах, важно, что высокая емкость кластерного углерода лишь незначительно уменьшается при работе на больших токах заряда-разряда (быстрый заряд-разряд), что обеспечивает превосходство данного материала по сравнению с известными мировыми аналогами. Используя кластерный углерод в качестве анодного материала, были изготовлены опытные партии литий- и натрий-ионных аккумуляторов с удельной энергией свыше 200 Вт·ч/кг и 130 Вт·ч/кг, соответственно. Ресурс работы изготовленных литий-ионных аккумуляторов в режиме быстрого заряда-разряда (в течение 20 мин.) составил более 5 000 циклов, что превышает мировые достижения в данной области.

В заключении коротко рассматриваются результаты экспериментов по получению кластерного углерода плазменным методом, который допускает масштабирование технологии до промышленного уровня.