

## ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

В сообщении представлена информация об истории создания, принципе работы, применении и перспективах использования современных химических источников тока – литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). Их изобретение можно считать одним из самых важных событий в области современной энергетики. Они произвели революцию в нашей жизни и сегодня используются в мире как одни из самых распространенных возобновляемых источников энергии.

В 2019 году за разработку литий-ионных батарей была присуждена Нобелевская премия по химии трем выдающимся ученым: Джону Гуденафу, Стэнли Уиттингему и Акире Ёсино. Более чем 20-летняя история создания литий-ионных источников тока весьма интересна и поучительна и является убедительным примером того, что только глубокое проникновение в механизм физико-химических взаимодействий, в природу электрохимических процессов и поверхностных явлений на межфазных границах электролит – электрод имеет шанс закончиться успешным практическим результатом.

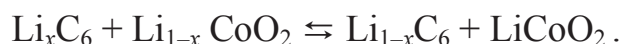
Комментируя присуждение Нобелевской премии по химии 2019 года, ряд источников обратили внимание на то, что несмотря на неоспоримые заслуги Гуденафа, Уиттингема и Ёсино индекс цитирования их научных статей по данной проблеме был относительно невысок по сравнению с работами других номинантов. Так случилось, что большого информационного «шума» вокруг их достижений не наблюдалось. Отметим, что информацию по этим вопросам можно найти в интернете и в СМИ, однако она не систематизирована, далеко не всегда представлена на требуемом научном уровне и зачастую носит поверхностный характер.

Известно, что литий обладает самым большим восстановительным потенциалом среди всех металлов. В водных растворах его потенциал  $E_{298}^{\circ} = -3,04$  В. Являясь самым активным щелочным металлом, он является и самым легким из них. Например, он легче калия в 5,5 раза. А для энергетического обеспечения многочисленной портативной аппаратуры должны использоваться именно малогабаритные источники тока. Это две причины, по которым литий оказался вне конкуренции при выборе анода в ЛИА. Катионы лития имеют также наименьший радиус в свободном состоянии и поэтому обладают

очень высокой подвижностью в кристаллических решетках материалов, что позволяет на их основе создавать аккумуляторы с твердыми электродами и электролитами. Однако компромисс между высокой активностью литиевого анода, приводящей к нежелательному взаимодействию лития с электролитом, и практической реализацией его уникальных восстановительных свойств разработчики ЛИА искали более десяти лет. В результате был предложен инновационный анодный материал – углеродная матрица на основе кокса, которая способна удерживать между своими слоями ионы лития  $\text{Li}^+$ . Простейшая формула подобного литиевого анода –  $\text{Li}_x\text{C}_6$ . Тем самым удалось исключить присутствие в батарее металлического лития и обеспечить ее пожаробезопасность. Оптимальным соединением для катода был выбран литированный оксид кобальта  $\text{LiCoO}_2$ , кристаллическая решетка которого способна относительно легко внедрять ионы  $\text{Li}^+$  и затем отдавать их в анодную углеродную матрицу при перезарядке батареи.

Электрохимическая схема ЛИА может быть записана следующим образом:  $(-)\text{Li}_x\text{C}_6 \mid \text{LiPF}_6, \text{ЭК} + \text{ДЭК} \mid \text{LiCoO}_2 (+)$ .

Суммарная реакция в элементе при работе на потребителя:



Процесс на аноде:  $\text{Li}_x\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{C}_6 + x\text{Li}^+ + xe$ .

Процесс на катоде:  $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + xe \rightleftharpoons \text{LiCoO}_2$ .

Таким образом, работа ЛИА сводится к «перекачке» ионов лития  $\text{Li}^+$  от одного электрода к другому, что превратило ЛИА в уникальный химический источник тока. Серийное производство промышленных образцов ЛИА и продажа Li-ионных батарей начались в 1991 году японской компанией «Сони». ЛИА имеют высокое рабочее напряжение 3,4–4 В, высокую удельную мощность (до 190 Вт·ч/кг) и очень низкую саморазрядку (менее 3% в месяц).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shu Z. X., McMillian R. S., Murray J. J. Electrochemical intercalation of Lithium into Graphite // J. Electrochem. Soc.– 1993.–Vol. 140.– P. 922–927.
2. Рыкованов А.С. Элементная база систем обеспечения функционирования Li-ion аккумуляторов // Компоненты и технологии. – 2012.– № 8.
3. Беляев С.И., Румянцев С. Н., Рыкованов А.С. Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкции // Компоненты и технологии. – 2013.– № 11.