

АЭРОГРАФИТ – МАТЕРИАЛ С УНИКАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь

Томашевич Л. П.

Позняк А. А. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Представлена одна из полиморфных модификаций углерода — аэрографит, одновременно являющийся, по сути, одной из разновидностей перспективного класса материалов — аэрогелей. Вкратце рассмотрены история изобретения, строение, способ получения и свойства.

Введение

Аэрографит — это материал чёрного цвета, оптически непрозрачный, плотностью менее $0,2 \text{ мг/см}^3$. Это позволяет называть аэрографит самым лёгким, на сегодняшний день, твёрдым материалом. Его структура представляет собой взаимосвязанную сеть углеродных трубок диаметром в несколько микронов, и толщиной стенки около 15 нм. Инновационный материал на 99,99% состоит из воздуха. Оставшееся пространство заполняет трёхмерная сеть пористых углеродных трубок, вырастающих друг из друга [1].

Аэрографит был разработан объединенной командой университета имени Христиана Альбрехта и Гамбургского технологического университета. Учёные открыли этот губчатый материал (рис. 1), исследуя трёхмерные шитые углеродные структуры.

Связи между атомами углерода в аэрографите имеют sp^2 характер, что было подтверждено в результате спектроскопии характеристических потерь энергии электронами и измерения удельного электрического со-

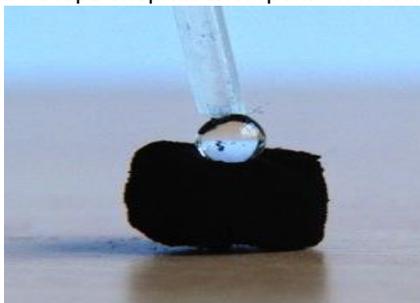


Рис. 1. — Изображение аэрографита

противления [1].

I. Свойства аэрографита

Аэрографит куда более прочен, чем хрупкий аэрогель: он выдерживает вес, который в 40 раз превосходит по весу вес самого материала. Если аэрографит сжать в 1000 раз, то он снова приобретёт первоначальную форму без каких-либо повреждений. Предел прочности данного материала зависит от его сжатия и составляет 160 кПа для плотности $8,5 \text{ мг/см}^3$ и 1 кПа при $0,18 \text{ мг/см}^3$. Под воздействием внешнего сжатия электрическая

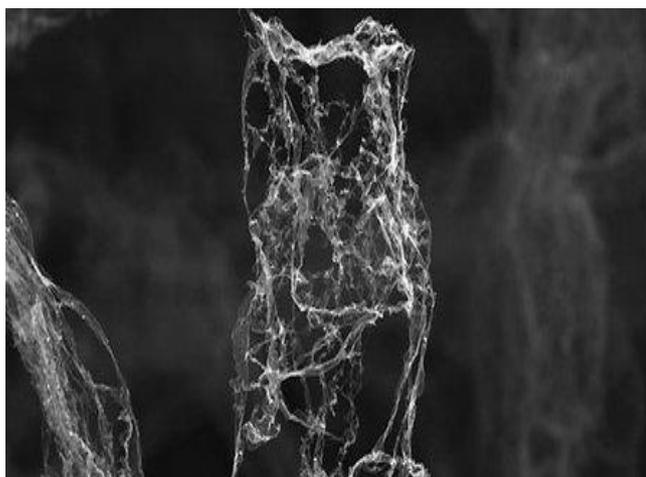


Рис. 2. — Микрофотография аэрографита, сделанная при помощи сканирующего электронного микроскопа [2].

проводимость возрастает с $0,3 \text{ См/м}$ до $0,8 \text{ См/м}$, а плотность с $0,18 \text{ мг/см}^3$ до $0,2 \text{ мг/см}^3$. А в сжатом состоянии эти показатели могут составлять 37 См/м при плотности 50 мг/см^3 [1]. Благодаря своей структуре из взаимосвязанных трубок (рис. 2), аэрографит более устойчив к растяжению, чем другие пористые материалы. Стенки трубок часто прерывистые, имеют складчатые области, что повышает эластичность аэрографита.

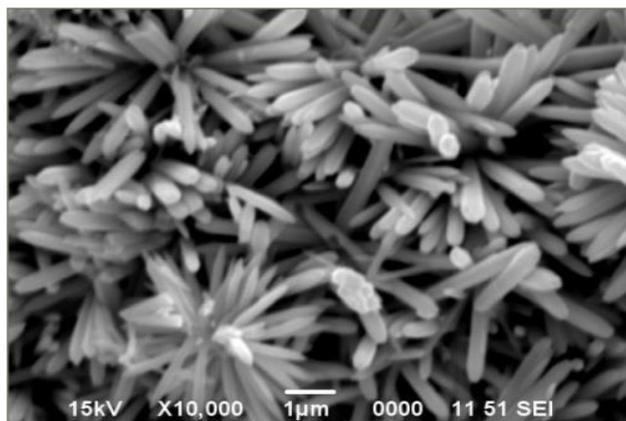


Рис. 3. — Подложка из оксида цинка, предназначенная для «выращивания» трубок аэрографита

Модуль Юнга для натяжения примерно равен 15 кПа при $0,2 \text{ мг/см}^3$, однако для сжатия он намного ниже и может колебаться от 1 кПа при $0,2 \text{ мг/см}^3$ до 7 кПа при 15 мг/см^3 [2]. Аэрографит обладает свойством сверхгидрофобности, а также достаточно восприимчив к электростатическим эффектам — кусочки материала притягиваются к заряженным предметам.

II. Получение аэрографита

«Выращивание» аэрографита — это заволаживающий процесс, который напоминает разрастание сетей из стеблей плюща вокруг дерева. В роли «дерева» выступает матрица из порошка оксида цинка. При нагревании до $900 \text{ }^\circ\text{C}$ он переходит в кристаллическую форму (рис. 3).

Затем из этой массы формируют подобие таблетки, в которой образуется пористая структура из микро- и нанотетраподов, которые и становятся основой для получения аэрографита.

На втором этапе таблетки из оксида цинка помещают в реактор, разогретый до $760 \text{ }^\circ\text{C}$. Образец находится в атмосфере аргона, куда в качестве источника углерода нагнетается толуол. После такой обработки таблетка покрывалась слоем графита толщиной всего в несколько атомов. Одновременно в систему вводится водород, который реагирует с оксидом цинка с выделением водяного пара и газообразного цинка. В итоге остаётся только тончайшая графитовая сеть из пористых трубок. Чем быстрее образуется цинк, тем более пористая получается структура графита [2].

Такая технология позволяет на всех этапах контролировать процесс и получать материал разной формы и размера (вплоть до нескольких кубических сантиметров).

III. Применение аэрографита

Исследователи предполагают, что новый материал может с большим успехом быть использован в литий-ионных батареях. В этом случае он поможет значительно снизить их вес, а значит, решить одну из проблем, ограничивающих массовое распространение электромобилей и электрических велосипедов. Автомобильному аккумулятору с электродом на основе аэрографита понадобится меньше электролита (вещества, проводящего электрический ток), чем нынешним батареям.

Также на основе аэрографита можно будет создавать суперконденсаторы. Материал хорошо переносит механические воздействия, связанные с циклами зарядки-разрядки и кристаллизации электролита (которая происходит при испарении растворителя). Емкость таких электродов составляет $1,25 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$, что сравнимо с показателем для электродов из углеродных нанотрубок ($2,3 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$).

Ещё одним потенциальным потребителем новейшей технологии могут стать авиация. Также аэрографит может быть испробован в аэрокосмической и спутниковой электронике, так как в состоянии выдерживать особенно сильные вибрации. При очистке воды аэрографит может в качестве адсорбента уничтожить стойкие вредные вещества, разлагая их на электрохимическом уровне, так как имеет хорошую механическую стабильность, электропроводимость и большую поверхность. Эти же качества могут быть использованы для очистки воздуха в инкубаторах или в аппаратах искусственной вентиляции лёгких [3].

Список использованных источников:

1. Mecklenburg, M. Aerographite: Ultra Lightweight, Flexible Nanowall, Carbon Microtube Material with Outstanding Mechanical Performance / M. Mecklenburg // Wiley Online Library. — 12 June 2012. [Electronic resource]. — Mode of access: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.201200491>. — Date of access: 25.03.2018.
2. Загорская, Д. Аэрографит претендует на звание самого лёгкого материала в мире / Д. Загорская // Вести.ру. Новости. Наука. — 18 июля 2012. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=852595&cid=2161>. — Дата доступа: 27.03.2018.
3. Петрова, С. Аэрографит открывает фантазию учёных / С. Петрова // Великая Эпоха (The Epoch Times). — 17 июля 2012. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.epochtimes.ru/content/view/64632/5/>. — Дата доступа: 28.03.2018.