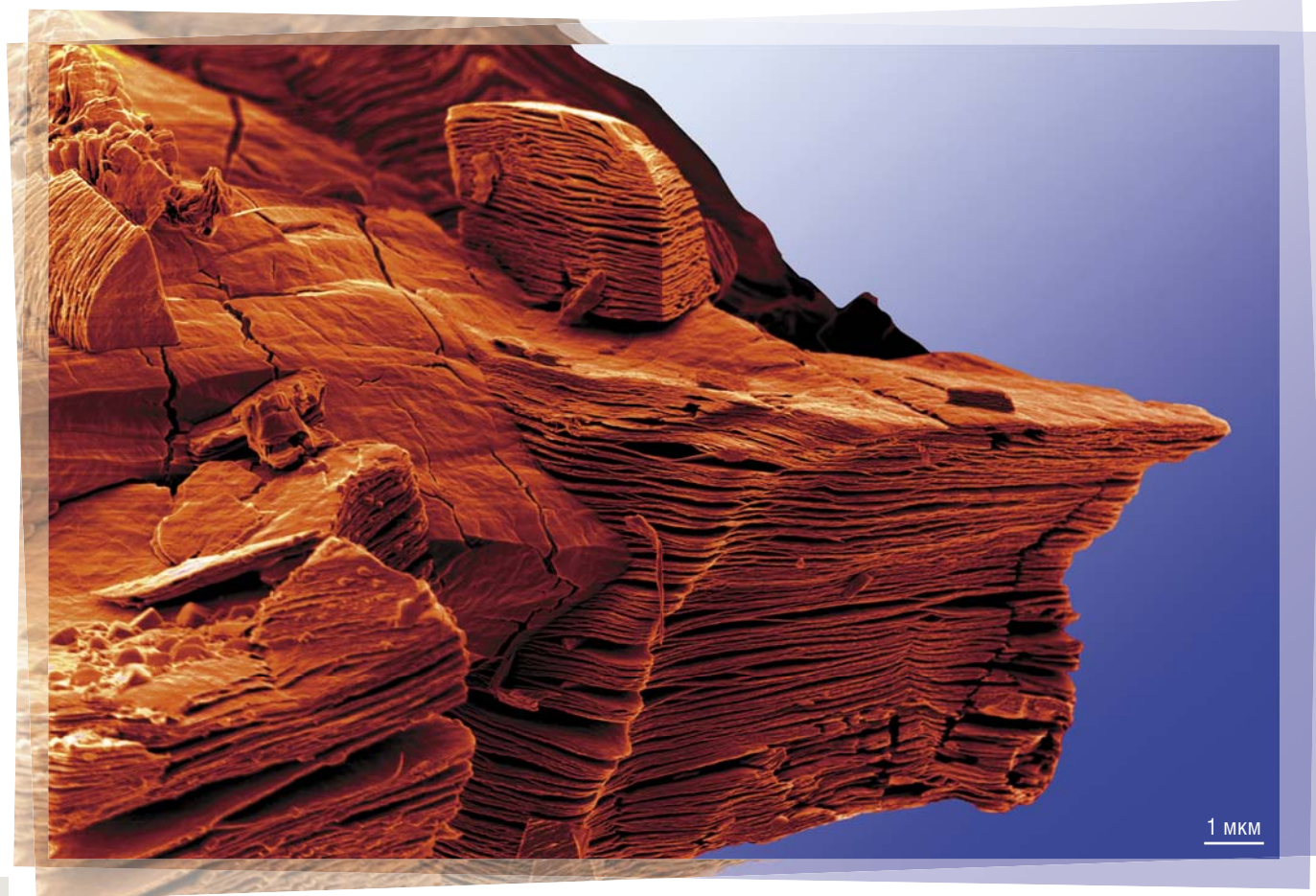


# Утес двумерного мира



Этот на первый взгляд скальный ландшафт в действительности представляет собой наноматериал из тончайших двумерных пластинок соединения на основе карбида титана.  
Электронная микрофотография Б. Анасори (Университет Дрекселя, США)

Image courtesy of the Materials Research Society ([www.mrs.org](http://www.mrs.org)) Science as Art Competition and Babak Anasori, Michel W. Barsoum, Yury Gogotsi and Michael Naguib, Drexel University

Так называемые *двумерные материалы*, т.е. структуры с относительно очень малой толщиной, привлекли внимание ученого сообщества совсем недавно. Самый известный на сегодня двумерный материал – это графен, состоящий из одноатомного слоя углерода. В 2010 г. за исследование электронных свойств графена А. Гейм и К. Новоселов, бывшие советские ученые, стали лауреатами Нобелевской премии по физике.

Благодаря своим необычным свойствам графен находит широкое применение в различных областях – от создания новых композитных материалов до электроники и новых типов электрических батарей. Но это лишь один из представителей большой группы двумерных структур, в которую также входят глины (глиноземы), гексагональный нитрид бора, дисульфид молибдена и другие хорошо известные и широко используемые материалы. Более того, семейство таких материалов продолжает расти по мере открытия новых соединений с двумерной структурой.

Например, двумерной структурой может обладать карбид титана ( $Ti_3C_2$ ). В сканирующем электронном микроскопе стопки двумерных слоев карбида титана очень напоминают пустынный горный утес.

Эта форма карбида титана входит в новое большое семейство двумерных карбидов и карбонитридов переходных металлов, которые были недавно открыты учеными из Университета Дрекселя (США). Представители этого семейства были названы *МХ-енами*, так как они получаются расщеплением на слои так называемых *МАХ-фаз*.

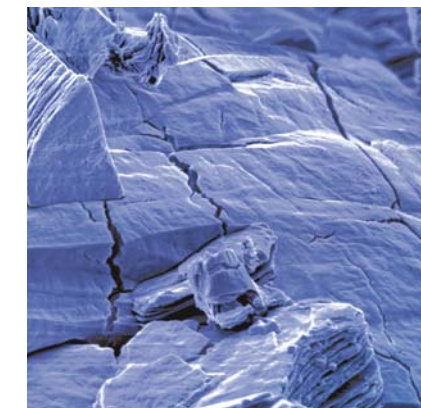
Последние, в свою очередь, образуют еще более обширное семейство тройных карбидов, карбонитридов и нитридов переходных металлов с химической формулой  $M_{n+1}AX_n$ , где  $M$  – переходный металл первых переходных групп (Ti, Cr, Nb и т.п.);  $A$  – элемент подгруппы А IV–VI групп (Al, Si, Sn, S, Pb и т.д.);  $X$  – углерод или азот;  $n$  примет значения от 1 до 3. В настоящий момент известно около тысячи различных МАХ-фаз.

Для получения МХ-ена МАХ-фазу обрабатывают соединением плавиковой кислоты, благодаря чему из него удаляется элемент группы А. В результате получаются слабосвязанные слои МХ-фазы, которые далее отделяют друг от друга в водной среде при помощи ультразвука.

Поверхность слоев МХ-енов гидрофильная, но при этом они обладают хорошей электропроводимостью, благодаря чему могут использоваться как аноды для литиевых аккумуляторов и электроды для электрохимических конденсаторов.

На сегодняшний день успешно получены семь различных МХ-енов. Простота описанной технологии позволяет надеяться, что такие структуры могут быть получены не только в лабораторных, но и в промышленных количествах.

М. Нагиб, Б. Анасори, М.В. Барсум, Ю. Гогоци (Университет Дрекселя, Филадельфия, США)



Лумература  
Naguib M., Mashtalir O., Carle J., Presser V., Lu J. et al. Two-Dimensional Transition Metal Carbides, *ACS Nano* 6(2) 1322–1331 (2012), <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nm204153h>

© М. Naguib, В. Anasori, М.В. Barsoum, Y. Gogotsi, 2013