

ДВУМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

А.Н. Панченко, студент
Волгоградский государственный университет
(Россия, г. Волгоград)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-2-2-132-134

Аннотация. В статье описываются двумерные материалы, более подробно рассмотрены графен, нитрид бора, дихалькогениды переходных металлов. Описаны методы синтеза двумерных наноструктур. Указаны области применения и уникальные свойства двумерных структур.

Ключевые слова: двумерные структуры, графен, нитрид бора, дихалькогенид переходных металлов, гетероструктура.

Наноструктуры представляют собой материалы с размерами в нанодиапазоне, обычно от 1 до 100 нанометров (нм). Их можно разделить на одномерные (1D), двумерные (2D) и трехмерные (3D) структуры в зависимости от их формы и размерности. Одной из бурно развивающихся направлений современного материаловедения являются двумерные наноструктуры и материалы на их основе. Двумерные наноструктуры, также известные как двумерные наноматериалы, представляют собой материалы с двумя размерами в нанодиапазоне. Двумерные наноструктуры обладают уникальными свойствами благодаря своим размерам и большой площади поверхности [1-3]. Эти свойства включают высокую механическую прочность, большую площадь поверхности, высокую электропроводность, высокую теплопроводность и уникальные электронные, оптические и магнитные свойства. Эти свойства делают двумерные наноструктуры привлекательными во многих областях, включая электронику и энергетику.

Существует множество типов двумерных наноструктур. Самая известная двумерная наноструктура – это графен. Графен состоит из одного слоя атомов углерода, расположенных в гексагональной решетке. Графен обладает высокой механической прочностью и высокой теплопроводностью, а рекордное значение подвижности носителей заряда делает его перспективным материалом для использования в самых разных приложениях, в

частности, в качестве будущей основы «электроники». Графен обладает уникальной особенностью – линейной зависимостью энергии носителей заряда (электронов и дырок) – от квазиимпульса. Важным следствием является сложность локализации носителей заряда в графене. В дополнение к своим замечательным электронным свойствам графен обладает впечатляющими механическими свойствами. Сильные ковалентные связи между атомами углерода графена делают его самым прочным материалом, когда-либо полученным человеком. Прочность графена такова, что его метровый лист теоретически способен удержать четырехкилограммового кота. При этом сама пленка легкая, одним граммом графена можно покрыть футбольное поле! Также графен можно использовать как чрезвычайно чувствительный сенсор – он может обнаруживать отдельные молекулы. Высокая проводимость графена позволяет использовать его в качестве основы для проводящих чернил, а прозрачность (графен поглощает только 2% света) и гибкость пленки делают графен идеальным прозрачным проводящим электродом, который позволит создать сенсорные экраны нового поколения.

Другие двумерные материалы также привлекают внимание ученых. В первую очередь это нитрид бора, изоэлектронный (имеющий одинаковое число электронов на молекулу) и изоструктурный аналог углерода: он также имеет алмазную и графитовую фазы и даже карбиновую фазу (цепочка атомов, в которой чередуются ато-

мы азота и бора). Существуют также нанотрубки из нитрида бора, поэтому неудивительно, что была успешно получена двумерная пленка BN. В отличие от графена нитрид бора является диэлектриком, его можно использовать только как изолятор.

Одними из изучаемых двумерных наноструктур являются дихалькогениды переходных металлов. Дихалькогениды металлов имеют химическую формулу MeX_2 , где Me представляет собой переходный металл (например, Mo, W, V и другие), а X представляет собой халькоген (сера, селен или теллур). Это большое семейство материалов, большинство из которых имеют слоистую фазу, которую можно разделить на двумерные слои. Но, в отличие от графена и нитрида бора, отдельный слой дисульфидов переходных металлов представляет собой «сэндвич» из двух слоев халькогенида, химически связанных со слоем металла в середине. Дихалькогениды переходных металлов могут проявлять как металлические, так и полупроводниковые свойства в зависимости от химического состава. Это вызвало большой интерес к этим материалам: например, к прототипам нанотранзисторов, на основе MoS_2 созданы оптоэлектронные элементы памяти и различные датчики. При этом подвижность носителей заряда у этого материала все же значительно ниже, чем у графена.

Разнообразие двумерных пленок позволяет создавать из них гетероструктуры. Например, если нитрид бора и графен соединить в плоскости, можно получить пленку с чередующимися проводящими и непроводящими областями. Также можно получить почти двумерную гетероструктуру – соединение нескольких листов разного состава. Уже получен материал, который состоит из графена (выполняет функцию токоподводящего электрода), нитрида бора (выполняет функцию туннельного барьера) и дихалькогенидов переходных металлов с общим числом слоев от 10 до 40. Такая гетероструктура способна излучать свет со всей поверхности

при пропускании через него электрического тока, то есть получен ультратонкий и сверхгибкий светодиод. Важно отметить, что свойства гетероструктуры полностью зависят от типа и расположения двумерных слоев [4].

Существует несколько методов синтеза двумерных наноструктур, включая подходы «сверху вниз» и «снизу вверх». Подходы «сверху вниз»: уменьшение материала большего размера для получения двумерной наноструктуры, например расслоение графита для получения графена. Подходы «снизу вверх»: сборка более мелких строительных блоков для формирования двумерной наноструктуры, например выращивание дихалькогенида переходных металлов с использованием химического осаждения из паровой фазы (CVD).

Двумерные наноструктуры имеют широкий спектр применения в различных областях. В электронике графен и дихалькогениды переходных металлов перспективны для использования в транзисторах, датчиках и запоминающих устройствах благодаря их высокой электропроводности и уникальным электронным свойствам. В энергетике двумерные наноструктуры могут использоваться в фотогальванических элементах, топливных элементах и батареях. В катализе двумерные наноструктуры могут использоваться в качестве катализаторов, в зондировании в качестве сенсоров для обнаружения газов, жидкостей и биомолекул.

Заключение. Двумерные наноструктуры обладают уникальными свойствами, которые делают их привлекательными во многих областях. Существует много типов 2D-наноструктур. При синтезе данных структур используют два подхода «сверху вниз» и «снизу вверх». Двумерные материалы используют в транзисторах, датчиках, фотогальванических элементах, датчиках. Каждый год проводится все больше и больше исследований в области двумерных материалов.

Библиографический список

1. Давлетова, О.А. Структура и электронные характеристики пиролизованного полиакрилонитрила: специальность 05.27.01 "Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах": диссертация

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Давлетова Олеся Александровна. – Волгоград, 2010. – 140 с.

2. Нанотубулярные композиты и их полуэмпирические исследования / И.В. Запороцкова, Е.В. Перевалова, Е.В. Прокофьева, О.А. Давлетова // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2006. – № 2. – С. 4-14.

3. Simulation of pyrolysed polyacrylonitrile based composite with amorphising boron additives / O.A. Kakorina, I.V. Zaporotskova, I.A. Kakorin, L.V. Kozhitov // Journal of Physics: Conference Series: Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems, Voronezh, 11-13 ноября 2019 года. Vol. 1479. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012131. – DOI 10.1088/1742-6596/1479/1/012131.

4. Какорина, О.А. Металлоуглеродные нанокompозиты на основе пиролизованного полиакрилонитрила с внедренными в межслоевое пространство атомами щелочноземельных металлов / О.А. Какорина, И.В. Запороцкова, Л.В. Кожитов // Физика и технология наноматериалов и структур: Сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Курск, 23-25 мая 2017 года. Том 1. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 225-231.

TWO-DIMENSIONAL MATERIALS, THEIR PROPERTIES AND APPLICATIONS

A.N. Panchenko, *Student*
Volgograd State University
(Russia, Volgograd)

Abstract. *The article describes two-dimensional materials, graphene, boron nitride, dichalcogenides of transition metals are considered in more detail. Methods of synthesis of two-dimensional nanostructures are described. The areas of application and unique properties of two-dimensional structures are indicated.*

Keywords: *two-dimensional structures, graphene, boron nitride, transition metal dichalcogenide, heterostructure.*