

ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

А. В. Семченко¹, Л. В. Судник², В. Е. Гайшун¹, Д. Л. Коваленко¹, В. В. Сидский¹,
А. А. Маевский¹, К. Д. Данильченко¹

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, г. Гомель, Беларусь,
e-mail: alina@gsu.by;

²Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа, г. Минск, Беларусь

Объектом исследования являются графенсодержащие нанокomпозиционные покрытия. Цель работы – исследование морфологии поверхности графенсодержащих нанокomпозиционных золь-гель покрытий методом атомно-силовой микроскопии. Представлен золь-гель метод синтеза графенсодержащих нанокomпозиционных покрытий. Анализ поверхности пленок указывает на то, что углерод может вызывать изменения в их морфологии в микро- и наномасштабах, изменяя субшероховатость. Графенсодержащие нанокomпозиционные покрытия, в частности, на основе фторированного оксида олова (FTO), могут применяться в тепловых зеркалах, фотоэлектрических элементах и сенсорных экранах.

Пленки прозрачных проводящих оксидов являются универсальными материалами, широко используемыми в различных приложениях, включая ИК-отражающие тепловые зеркала, защитные слои в фотоэлектрических элементах, газовые датчики и сенсорные экраны. Широко известны пленки на основе оксида олова, наиболее рекомендуемыми легирующими элементами являются сурьма (Sb) и фтор (F). По сравнению с оксидом олова фторированный оксид олова (FTO) имеет ряд преимуществ из-за его большей однородности, что помогает избежать образования скоплений и снижения подвижности носителей заряда. В механизме проводимости кислородные вакансии являются ключевыми, и фторидные анионы либо занимают эти вакансии, либо заменяют кислородные анионы в структуре материала, влияя на концентрацию и подвижность носителей заряда [1]. Если добавить углерод в пленки FTO, это может изменить их электрические и оптические свойства. Углерод может влиять на проводимость и прозрачность пленок. Кроме того, добавление углерода может воздействовать на структуру и морфологию пленок. Эти модификации могут быть полезными в определенных приложениях, таких как солнечные батареи или электроника.

Прозрачные проводящие тонкие пленки могут быть получены различными методами, такими как химическое осаждение, спрей-пиролиз, лазерное осаждение, а также золь-гель метод. Этот метод часто применяется при создании тонкопленочных материалов [2].

Пленкообразующий раствор FTO был получен золь-гель методом, затем пленки были нанесены методом центрифугирования [3]. В качестве исходных материалов использовались хлорид олова (SnCl_4), этиловый спирт и фторид аммония (NH_4F). Были подготовлены пленкообразующие растворы с разной концентрацией углерода: 6, 8, 10, 12 мас. %. Тонкопленочное покрытие FTO получали, нанося полученный золь на кремниевую и кварцевую подложку и вращая при 3000 об/мин в течение 10 с. Нанесение каждого слоя повторяли 4 раза и обрабатывали при температуре 325 °C по 30 мин. Итоговый отжиг производился в печи, нагретой до температуры 450 °C, и проходил в течение 60 мин.

Проведен анализ топографии поверхности полученных покрытий методом атомно-силовой микроскопии (АСМ NT-26 производства Республики Беларусь), исследован рельеф поверхности пленок FTO с введенным в состав нанокomпозитом (рис. 1).

Размер зерен, их распределение по поверхности полученных покрытий и ее морфология зависят от состава золя. При легировании углеродом тонких прозрачных покрытий FTO происходит изменение структуры поверхности из-за влияния углерода на процессы формирования кристаллической решетки. Легирование углеродом может приводить к образованию дополнительных дефектов или изменению микроструктуры материала, что становится причиной «размытия» поверхности пленки на уровне микронных и нанометровых масштабов. Эти изменения могут происходить из-за влияния углерода на процессы роста и кристаллизации во время обработки или в результате взаимодействия с другими элементами в материале. Кроме того, углерод может способствовать образованию аморфной структуры или изменению ориентации кристаллов, что также может привести к «размытию» поверхности.

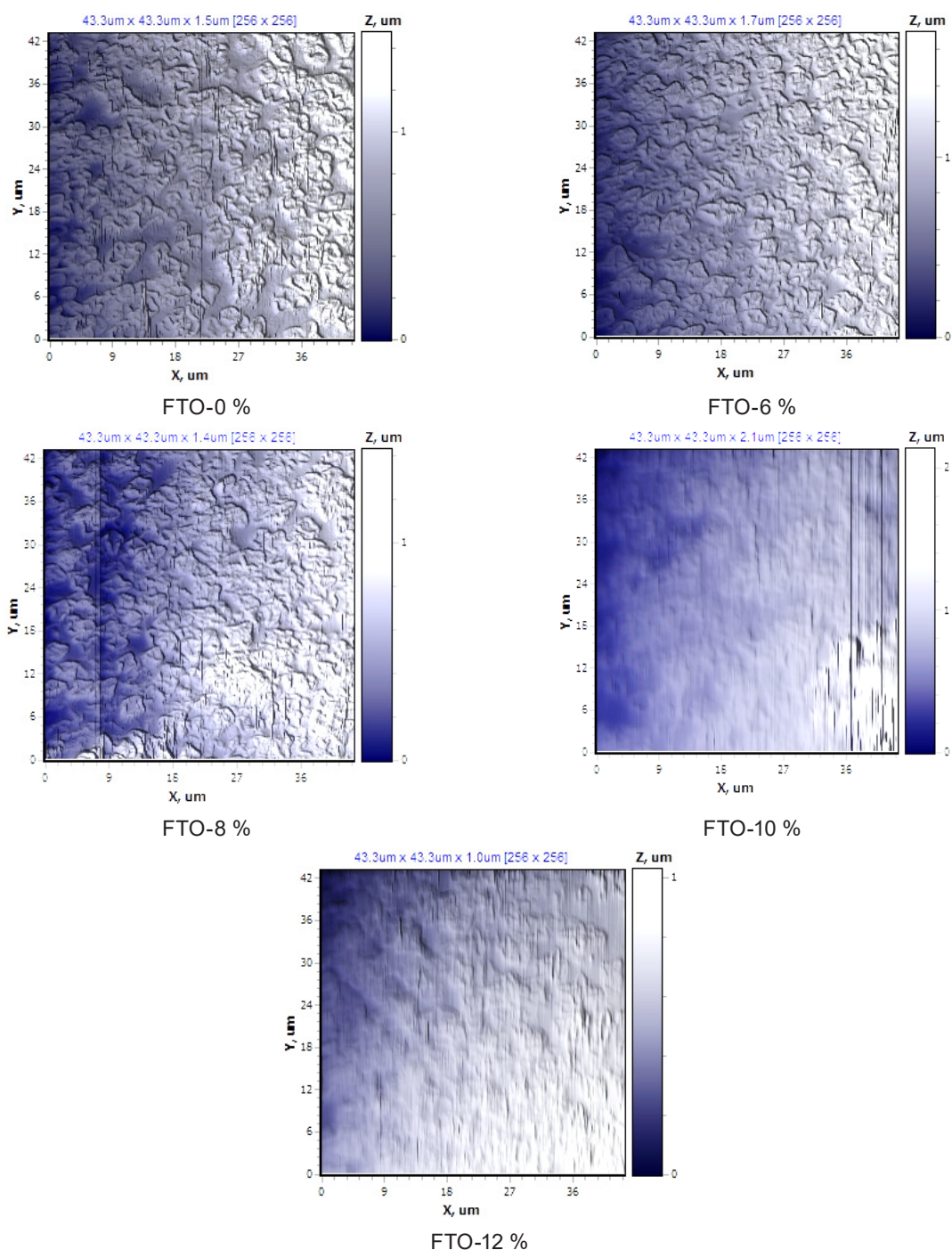


Рис. 1. АСМ-изображения нанокomпозиционных графенсодержащих покрытий с разной концентрацией соединения углерода 6, 8, 10, 12 мас. %.

Золь-гель методом получены графенсодержащие нанокomпозиционные покрытия с разной концентрацией фторсодержащих покрытий с вариативностью соединения углерода 6, 8, 10, 12 мас. %. Проведен анализ топографии поверхности полученных покрытий методом атомно-силовой микроскопии. Легирование углеродом тонких прозрачных покрытий FTO приводит к изменению их структуры и сглаживанию морфологии поверхности.

Литература

1. FTO films deposited in transition and oxide modes by magnetron sputtering using tin metal target / B. H. Liao [et al.] // Applied Optics. – 2014. – Vol. 53, № 4. – P. A148-A153.

2. Adedokun, O. Review on transparent conductive oxides thin films deposited by sol-gel spin coating technique / O. Adedokun// International Journal of Engineering Science and Application. – 2018. – Vol. 2, № 3. – P. 88–97.

3. Исследование физических свойств композиционных антистатических покрытий, синтезированных золь-гель методом / К. Д. Данильченко [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – Vol. 53, № 4. – P. 21–24.

GRAPHENE-CONTAINING NANOCOMPOSITE COATINGS OBTAINED BY SOL-GEL METHOD

A. V. Semchenko¹, L. V. Sudnik², V. E. Gajshun¹, D. L. Kovalenko¹, V. V. Sidskij¹,
A. A. Maevskij¹, K. D. Danilchenko¹

¹Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus e-mail: alina@gsu.by;

²O. V. Roman Powder Metallurgy Institute, Minsk, Belarus

The object of the investigation is graphene-containing nanocomposite coatings. The aim of the work is to investigate the surface morphology of graphene-containing nanocomposite sol-gel coatings by atomic force microscopy. A sol-gel method for synthesizing graphene-containing nanocomposite coatings is presented. Surface analysis of the films indicates that carbon can induce changes in their morphology at the micro- and nanoscale, altering sub-roughness. Graphene-containing nanocomposite coatings, particularly those based on fluorinated tin oxide (FTO), can be used in thermal mirrors, photovoltaic cells, and touch screens.

УДК 621.762

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВКИ НАНОАЛМАЗОВ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЕЧЕННОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМА

В. Т. Сеньют¹, С. А. Ковалева¹, В. Ю. Долматов², П. А. Витязь¹, И. Е. Григорьев³

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,
тел./факс: +375 (17) 243-24-01, e-mail: vsenyut@tut.by

²ФГУП «СКТБ «Технолог», г. Санкт-Петербург, Россия

³Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь

В работе исследовано влияние модифицирующей добавки детонационных наноалмазов (ДНА), в том числе допированных бором, на структуру, фазовый состав и микротвердость материала на основе порошка вольфрама, спеченного в условиях высоких давлений (до 4,5 ГПа) и температур. Установлено, что добавка наноалмазов в количестве 0,3 мас. % приводит к увеличению микротвердости материала на основе вольфрама в 2–4 раза, до 9–15,5 ГПа, и повышает его пластичность. Показано, что с увеличением времени спекания более 15 с наблюдается снижение микротвердости до 5,8–6,5 ГПа, которое затем сменяется ее ростом до исходного уровня. Повышение температуры спекания также приводит к снижению микротвердости, что может быть связано с ростом зерна вольфрама.

Введение. Вольфрам (W) и его соединения благодаря сочетанию высокой твердости, плотности, износостойкости, стойкости к высоким температурам широко применяются в машино- и авиастроении, военном деле, инструментальном производстве. Среди всех чистых элементов вольфрам имеет самую высокую температуру плавления (3422 °С) и при этом обладает хорошей теплопроводностью, что делает его интересным для высокотемпературного применения [1]. Однако вольфрам имеет серьезный недостаток – высокую хрупкость. Проведенные исследования показали, что малые размеры зерен W способствуют улучшению его пластичности и обрабатываемости, а также устойчивости к абляции [2]. Для предотвращения рекристаллизации и роста зерна вольфрама при высоких температурах используют дисперсные частицы La₂O₃, Y₂O₃, CeO₂, TiC, ZrC или HfC [3].

Таким образом, актуальным направлением исследований является разработка новых модифицирующих добавок, обеспечивающих сохранение мелкого зерна вольфрама и повышение физико-механических свойств спеченных материалов. В данной работе в качестве добавки использовали детонационный наноалмаз (ДНА), широко применяемый в качестве модификатора структуры объемных материалов и покрытий [4, 5].