

К.С. Куликов, В.А. Миличко, Ю.А. Кенжебаева

Университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия

ДИНАМИКА ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТОНКИХ СЛОЕВ ГИБКИХ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ

***Аннотация.** В данной работе сообщается о получении тонких слоев металл-органического каркаса (МОК) методом механического расслаивания и в процессе разморозки-заморозки. Установлено, что метод разморозки-заморозки оказался более перспективным для создания тонких слоев МОК. Была охарактеризована структура тонких слоев МОК, а также были проведены эксперименты по анализу трансформации структуры при воздействии лазерного излучения.*

K.S. Kulikov, V.A. Milichko, Yu.A. Kenzhebayeva

University ITMO
Sankt-Petersburg, Russia

DYNAMICS OF OPTICAL SWITCHING OF THIN LAYERS OF FLEXIBLE METAL-ORGANIC FRAMEWORKS

***Abstract.** This paper reports on the production of thin layers of a metal-organic framework (MOF) using mechanical exfoliation and freeze-thaw processes. It was found that the freeze-thaw method was more promising for the creation of thin MOF layers. The structure of thin MOF layers was characterized, and experiments were conducted to analyze the transformation of the structure under the influence of laser radiation.*

Введение

В последние несколько лет металл-органические каркасы (МОК), кристаллические пористые полимеры, состоящие из металлических ионов и органических лигандов, стали одной из быстроразвивающихся областей исследования для их последующего применения в области фотоники. Гибкость структуры и способность обратимо и быстро изменять свои оптические свойства под воздействием внешних факторов (давление, температура, лазерное излучение) позволяют применять данные материалы в коммерческих устройствах обработки и хранения информации. Однако использование МОК в качестве активного материала в современных устройствах ограничивается медленной скоростью структурных трансформаций и низкой структурной стабильностью. Данную проблему может решить использование тонких слоев металл-органических каркасов.

МОК занимают особое место среди большого семейства функциональных 2D материалов. Даже на уровне монослоя 2D МОК проявляют уникальные сенсорные, разделительные, каталитические, электронные и проводящие свойства [1]. В данной работе мы показываем, что уменьшение размерности МОК (от 3D до тонких слоев) может способствовать увеличению скорости структурных трансформаций и распространению тепла. Кроме того, использование тонких слоев позволит уменьшить размер современного устройства обработки данных.

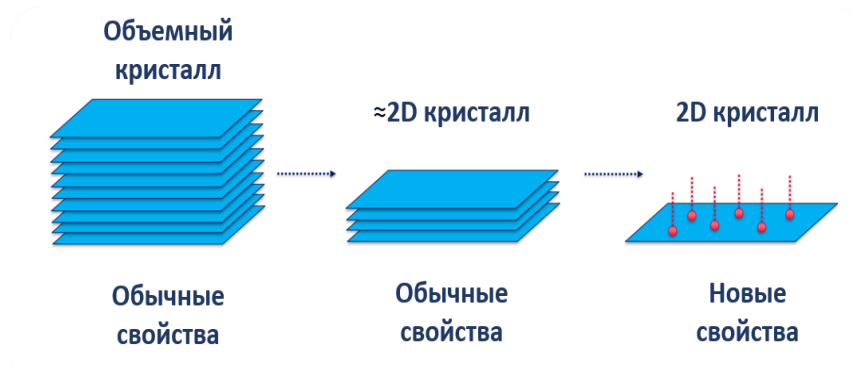


Рис. 1 – Концепт перехода от 3D МОК к тонким 2D слоям

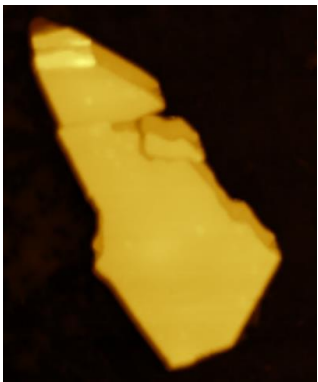
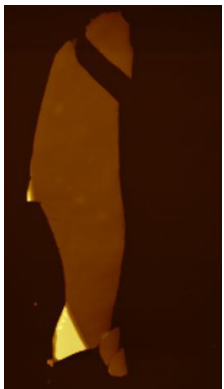
Основная часть

В данной работе материалом исследования является 3D металл-органический каркас, в котором в качестве комплексообразователя выступает катион меди (II) связанный донорно-акцепторной связью с 1,2,4-триазол-карбоксилатным лигандом с углеводородным (адамантановым) линкером [2]. В структуре 2 катиона меди соединены с тремя мостиковыми карбоксильными группами лиганда. Общая структура 3D кристалла является слоистой. Исследуемый МОК был синтезирован сольвотермальным методом.

Для того чтобы получить 2D слои МОК, изначально был применен метод механического расслаивания. Суть метода заключается в том, что с помощью скотча было осуществлено множество циклов наклеивания-отклеивания исходного кристалла, что приводило к его постепенному расслаиванию. Полученные слои были охарактеризованы с помощью атомно-силового микроскопа AIST SmartSPM.

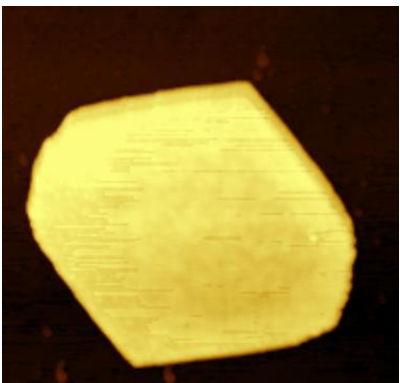
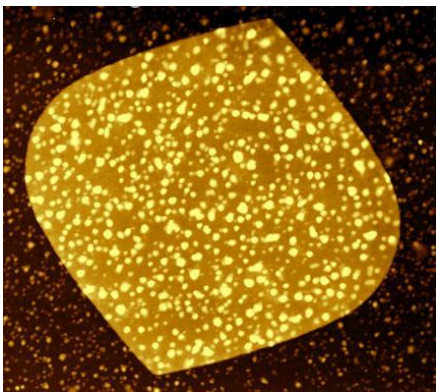
Можно заметить, что с помощью механического метода расслаивания мы можем получать тонкие слои. Однако одновременно с этим, при использовании данного метода слои не получаются столь равномерными и их латеральные размеры остаются малыми и недостаточными. Параметры размеров слоев представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики получаемых слоев с помощью механического расслаивания:

Изображение		
Минимальная толщина (нм)	58,4	2,6
Максимальная длина (мкм)	35,6	3,7

Вторым методом расслаивания, который был использован в нашей работе, является метод заморозки-разморозки. Его идея состоит в том, что, циклически изменяя температуру (от -196 °С (температура жидкого азота) до 100-120 °С) смеси в эппендорфе с кристаллами МОК в растворителе ДМСО, слои отделялись друг от друга.

Таблица 2 - Характеристики получаемых слоев с помощью метода заморозки-разморозки:

Изображение		
Минимальная толщина (нм)	14,2	1,6
Максимальная длина (мкм)	25,0	14,3

Для характеристики полученных тонких слоев использовали метод атомно-силовой микроскопии, исходя из чего можно было

наблюдать, что толщина полученных слоев составляет не более 100 нм, а их латеральные размеры оказались на порядок выше, чем механически расслоенных.

Таким образом, нам удалось получить слои толщиной не более 15 нм с помощью метода заморозки-разморозки. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что метод заморозки-разморозки оказался более перспективным, так как с его помощью можно получать равномерные и тонкие слои с маленьким соотношением толщины к длине.

В рамках работы, для реализации идеи передачи оптической информации на тонких слоях, были проведены эксперименты по анализу трансформации структуры механически расслоенного слоя 90 нм под воздействием лазерного излучения в спектроскопии отражения.

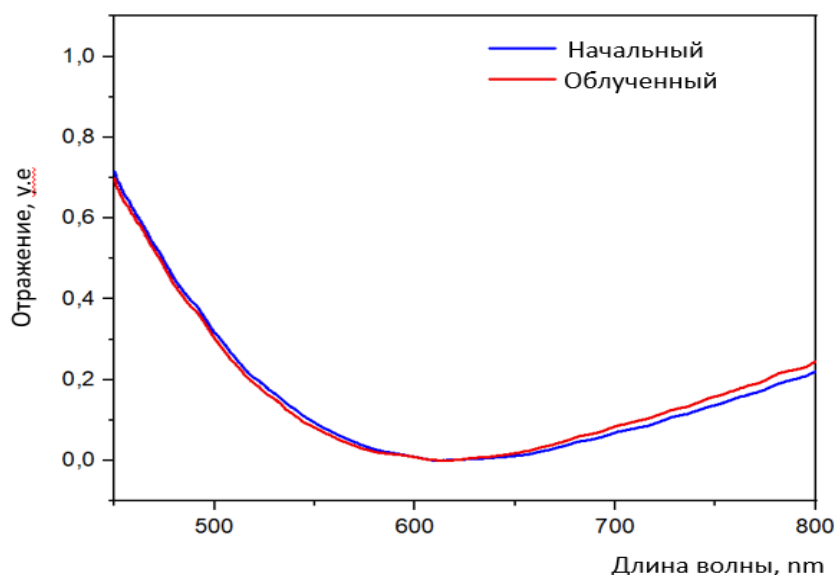


Рис. 2 – График трансформации структуры тонкого 2D слоя

На рис. 2 показано, что действительно происходит изменение отражения слоя в зависимости от лазерной засветки, что говорит о том, что полученные слои имеют гибкую структуру такую же, как и у 3D кристалла. Полученные результаты показывают возможность применения тонких слоев гибких МОК в устройствах обработки и передачи оптической информации.

Список использованных источников

1. Efimova A, Alexeevskiy P, Timofeeva M. Exfoliation of 2D Metal-Organic Frameworks: toward Advanced Scalable Materials for Optical Sensing // Small Methods. - 2023. V. 5 № 11.

2. Kenzhebayeva Y, Kulachenkov N, Rzhevsky S. Light-driven anisotropy of 2D metal-organic framework single crystal for repeatable optical modulation // Communications materials. - 2024. V. 5 № 48.

УДК 621.793.182

**С.Д. Латушкина¹, Д.В. Куис², О.И. Посылкина¹, И.А. Сечко¹,
Д.Д. Гордиенко², А.С. Раковец², О.Ю. Цынкович²**

¹ Физико-технический институт НАН Беларуси

² Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ti-Cr-N, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ОСАЖДЕНИЯ

Аннотация. Работа посвящена разработке архитектуры многослойных наноструктурных покрытий системы Ti-Cr-N с чередующимися слоями, обладающими различными механическими свойствами. По результатам исследований предложена архитектура многослойных наноструктурных покрытий TiN-(Ti-Cr-N) с высоким уровнем микротвердости и эксплуатационных свойств режущего инструмента за счет увеличенной протяженности межфазных границ в многослойном покрытии и повышенной энергии межатомной связи в многокомпонентном слое Ti-Cr-N.

**S.D. Latushkina¹, D.V. Kuis², O.I. Posylkina¹, I.A. Sechko¹,
D.D. Gordienko², A.S. Rakovets², O.Y. Tsynkovich²**

¹ Physical and Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

² Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF MULTILAYER COATINGS OF THE Ti-Cr-N SYSTEM, FORMED BY THE METHOD OF VACUUM-ARC DEPOSITION

Abstract. The work is devoted to the development of the architecture of multilayer nanostructured coatings of the Ti-Cr-N system with alternating layers possessing different mechanical properties. Based on the research results, the architecture of multilayer nanostructured TiN-(Ti-Cr-N) coatings with a high level of microhardness and operational properties of the cutting tool due to the increased length of the interphase boundaries in the multilayer coating and the increased energy of interatomic bonding in the multicomponent Ti-Cr-N layer is proposed.