

УДК 535.015

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО
ВЫТЯГИВАНИЯ ПОДЛОЖКИ ИЗ КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НА
КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМЫХ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК.**

Морозова Александра Юрьевна

*Студент 3 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет**Научный руководитель: А.Р. Ибрагимов,
ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Фотонные кристаллы (ФК) представляют большой интерес для изучения, так как являются структурами с модуляцией показателя преломления и не пропускают свет определенной длины волны, или частоты, в одном, или нескольких направлениях, то есть имеют фотонную запрещенную зону (ФЗЗ). В настоящее время всё большее применение находят ФК из коллоидных частиц, которые состоят из плотноупакованных частиц субмикронного размера, так как изделия таких размеров активно используются в областях оптоэлектроники, фотоники, биомедицины и т.д. Необходимо придерживаться определенной упорядоченности упаковывания частиц коллоидного кристалла так как она будет определять фотонно-кристаллические свойства изделия. Наиболее технологичными методами формирования коллоидных кристаллов являются: центрифугирование, седиментация, метод электрофореза и метод вертикального вытягивания.

В данной работе рассматривается самоорганизация частиц, методом вертикального вытягивания. Принцип метода заключается в том, что в установке для вертикального вытягивания из коллоидного раствора очищенная подложка в вертикальном положении опускается в суспензию, после чего поднимается вверх с постоянной скоростью в диапазоне от 0,1 мм/мин до 1 мм/мин [5]. Толщина и структура плёнки зависят от скорости вытягивания подложки, скорости высыхания коллоидного раствора, концентрации раствора, температуры окружающей среды и т. д.

Был проведен эксперимент, в котором было получено 3 структуры из коллоидных сфер на кремниевых подложках при различных скоростях вытягивания (рис. 1). В различных литературных источниках приводятся различные скорости вытягивания, в [2] оптимальной является скорость 0,9 мм/мин, однако в [3] утверждается, что наиболее подходящей является скорость вытягивания 0,3 мм/мин. Поэтому был проведен эксперимент по вертикальному вытягиванию при скоростях 0,3 мм/мин, 0,9 мм/мин и средней между ними - 0,6 мм/мин.

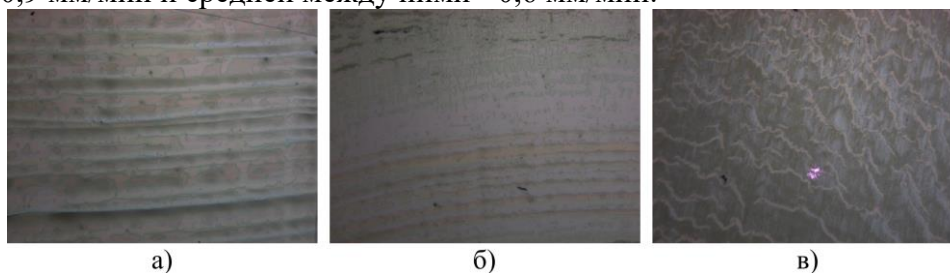


Рис. 1 – Макрофотографии полученных структур:
а) – скорость вытягивания 0,3 мм/мин; б) – скорость вытягивания 0,6 мм/мин;
в) – скорость вытягивания 0,9 мм/мин.

Также были получены изображения образцов с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) (рис. 2).

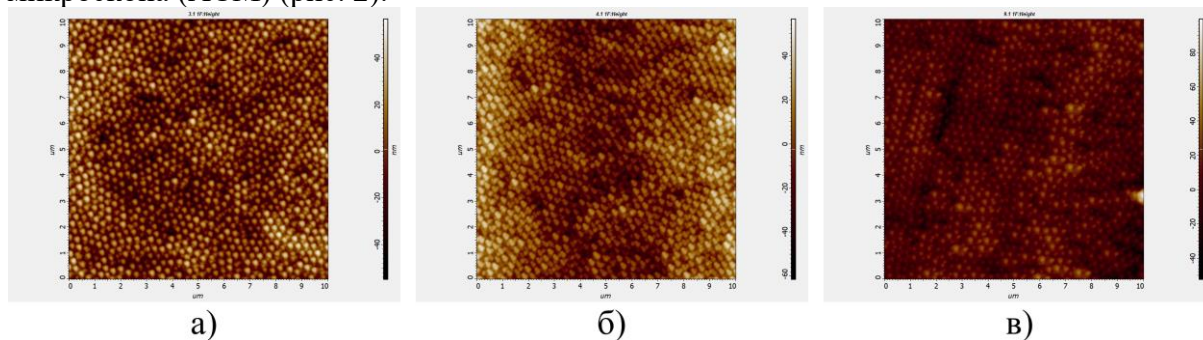


Рис. 2 – Изображения структур, полученные на АСМ:

- а) – скорость вытягивания 0,3 мм/мин; б) – скорость вытягивания 0,6 мм/мин;
в) – скорость вытягивания 0,9 мм/мин.

Анализируя макрофотографии (рис. 1) можно увидеть, что наилучший результат достигается при скорости 0,9 мм/мин (рис. 1 в), т.к. имеется множество неравномерностей. Анализируя полученные АСМ-изображения, можно заметить, что наиболее упорядоченная структура из коллоидных сфер получилась при скорости вытягивания, равной 0,3 мм/мин (рис. 2 а), а при скоростях 0,6 мм/мин (рис. 2 б) и 0,9 мм/мин (рис. 2 в) заметны наложения слоёв из сфер и большее количество дефектов.

Проведенное исследование подтверждает необходимость определения зависимости качества получаемых ФК структур от скорости вытягивания. Так как в проведенном эксперименте шаг между исследуемыми скоростями был достаточно большим и составлял 0,3 мм, остается возможным наличие локальных максимумов в диапазонах между шагами. В случае их существования, нахождение этих максимумов позволит более точно контролировать оптические свойства получаемых ФК структур, а соответственно существенно расширить область их применения.

Литература

1. Дегтяренко Н.Н., Каргин Н.И. Введение в физику и моделирование фотонных кристаллов: учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 148 с.
2. Fookes F., Polo Parada L., Fidalgo M. A Robust Method for the Elaboration of SiO₂-Based Colloidal Crystals as a Template for Inverse Opal Structures //Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 3. – С. 1433.
3. Ибрагимов А. Р. и др. Оптимизация процесса получения фотоннокристаллических коллоидных пленок //ЧЕТВЕРТЫЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ" НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ". – 2018. – С. 199-202.
4. Guo S. et al. Research status and development trend of three-dimensional colloidal crystals //Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2021. – Т. 96. – С. 34-58.
5. Беседина К. Н. Разработка методов управляемого формирования и исследование тонкопленочных опаловых наноструктур //Москва. – 2014.