

УДК

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА САМООРГАНИЗАЦИИ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ ПОЛИСТИРОЛА ПРИ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИИ СУСПЕНЗИИ СПОСОБОМ «SPIN-COATING»

Гришаев Никита Алексеевич

Студент 4 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.В. Панфилова,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Фотонные кристаллы (ФК) – это твердотельные структуры и среды, у которых диэлектрическая проницаемость периодически меняется в пространстве, причём так, что в данной структуре или среде допускается брэгговская дифракция света [1, 2]. Это явление определяет важнейшее и наиболее ценное свойство ФК – они позволяют получить разрешённые и запрещённые зоны для энергий фотонов. Иначе говоря, если на такую структуру падает фотон с энергией, соответствующей запрещённой зоне данного ФК (т.н. фотонной запрещённой зоне – ФЗЗ), то он не может в нём распространяться и вынужден отразиться обратно [1]. Становится очевидной аналогия между фотонными кристаллами и полупроводниками – в первых особым образом распространяются фотоны, а во вторых – носители зарядов. Благодаря своим уникальным свойствам ФК считаются ключевым продуктом в развитии и массовом внедрении нового поколения оптических и оптоэлектронных устройств [3, 4], в частности, квантовых компьютеров на базе фотонных интегральных схем.

На сегодняшний день производство ФК с адекватным уровнем воспроизводимости является крайне трудной технологической задачей. Учёными и исследователями разработано множество методов формирования ФК структур, имеющих в своей основе фундаментально разные физические принципы и явления. Так, выделяют методы нанесения тонких плёнок (в ряде случаев предусматривается последующее травление), голографические методы, 3D-печать и методы самоорганизации частиц из коллоидных суспензий. К группе последних относятся естественная седиментация, вертикальное вытягивание, электрохимическое осаждение, фильтрация и, наконец, рассматриваемый в данной статье метод центрифугирования [5]. Он применяется для получения упорядоченных массивов частиц в форме тонких плёнок, причём достаточно больших площадей. В данной работе изучается один из способов центрифугирования, называемый «spin-coating» («спин-коутинг»), суть которого состоит в том, что несколько капель суспензии микросфер помещают в центр быстровращающейся (1000...10000 об./мин.) в горизонтальной плоскости подложки, после чего под действием центробежных сил раствор растекается по её поверхности, образуя плёнку (рис. 1). Дисперсионная среда суспензии постепенно испаряется, и с краёв подложки микросферы (вследствие увеличивающейся центробежной силы, действующей на них) самоорганизуются в упорядоченный массив. Процесс повторяют

до тех пор, пока в планарной структуре не будет достигнуто требуемое количество слоёв [6, 7].

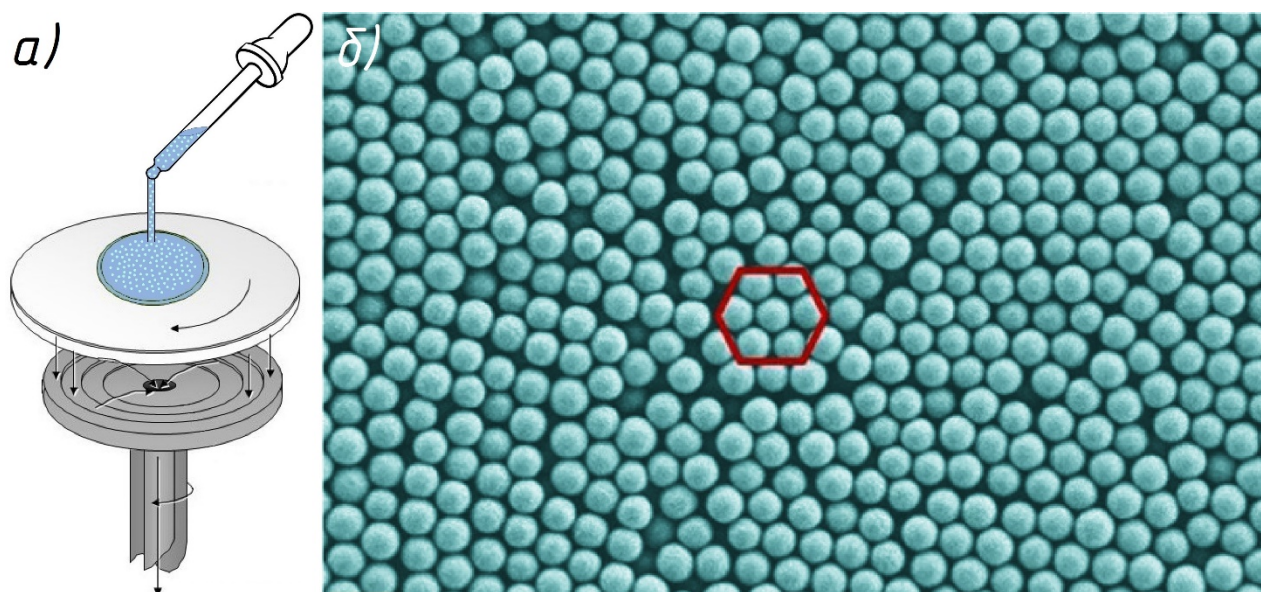


Рис. 1. Схема процесса осаждения ФК плёнки методом центрифугирования. а) Вращение подложки с нанесённой на неё каплей коллоидной суспензии на «спин-коутере»
б) Результат – слой микросфер

Центрифугирование характеризуется максимальной скоростью образования статичного, относительно жёсткого ансамбля микросфер среди прочих методов самоорганизации, но уступает им по упорядоченности получаемых структур в связи с наличием большого числа дефектов (таких, как вакансии микросфер) и частыми нарушениями пространственной периодичности (например, отклонениями от плотной гексагональной упаковки частиц). Это можно объяснить тем, что вследствие высокой скорости вращения центрифуги дисперсионная среда коллоидного раствора испаряется быстрее, чем успевает произойти разделение частиц по размерам.

В работе были подобраны технологические режимы для настольной лабораторной центрифуги СМ-6М | ELMi, которые обеспечивают удовлетворительное качество осаждаемых из коллоидной суспензии микросфер полистирола планарных структур. Проведён и статистически обработан полный факторный эксперимент, а также разработан план оптимизации процесса. Выявлено, что приемлемое качество ФК плёнок обеспечивается при использовании более крупных микросфер, причём скорость вращения ротора центрифуги и массовая доля частиц полистирола в коллоидной суспензии (т.н. концентрация раствора) в рассмотренных диапазонах значений влияют на результат незначительно.

Полученные результаты могут быть использованы в технологии получения темплатной нанопериодической структуры при изготовлении пассивных элементов фотонных интегральных схем, ФК инверсных и гетероструктур для ближнего ИК-диапазона, а также в операции микросферной литографии при производстве изделий оптоэлектроники, оптических и полупроводниковых сенсоров.

Литература

1. Гончар К. А., Тимошенко В. Ю. Оптика твердого тела и наноструктур, лекция 14 // Москва: Изд-во Московского гос. ун-та им. МВ Ломоносова — 2016 — 30 с.
2. Ивченко Е. Л., Поддубный А. Н. Резонансные трехмерные фотонные кристаллы // Физика твердого тела. – 2006. – Т. 48. – №. 3. – С. 540-547.
3. Galle L. et al. Conductive ITO Interfaces for Optoelectronic Applications Based on Highly Ordered Inverse Opal Thin Films // ChemNanoMat. – 2020. – Т. 6. – №. 4. – С. 560-566.
4. Домкин К. И. Фотонные кристаллы и устройства // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2012. – Т. 2.
5. Бричкин С. Б. Исследование и разработка методов получения упорядоченных наноструктурированных пленок, основанных на процессах самосборки ансамблей коллоидных наночастиц и наноструктур. – Министерство образования и науки РФ, 2008. – №. 02.513. 11.3166.
6. Xu Y. et al. Centrifugation and spin-coating method for fabrication of three-dimensional opal and inverse-opal structures as photonic crystal devices // Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS. – 2004. – Т. 3. – №. 1. – С. 168-174.
7. Xu Y. et al. Fabrication of self-assembled photonic-crystal structures by centrifugation and spin coating // Lithographic and Micromachining Techniques for Optical Component Fabrication II. – International Society for Optics and Photonics, 2003. – Т. 5183. – С. 16-24.