

**УДК 621.38**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ**

Никита Алексеевич Гришаев

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*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»*

Термин "фотонные кристаллы" (часто в литературе используется аббревиатура - ФК) на слуху у исследователей и учёных всего мира вот уже несколько десятилетий. Им принято называть 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]. Отсюда следует важнейшее свойство ФК - они позволяют получить разрешённые и запрещённые зоны для энергий фотонов. Иными словами, если на такую структуру падает фотон, обладающий энергией, которая соответствует запрещённой зоне данного ФК (так называемой фотонной запрещённой зоне, или кратко ФЗЗ), то он не может в нём распространяться и отражается обратно [1]. Эта и другие уникальные особенности фотонно-кристаллических структур в перспективе имеют бесчисленное количество практически значимых применений и приложений. Однако уже сегодня можно назвать несколько устройств на основе ФК, широко используемых в различных сферах науки, техники и производства [3]. Так, например, простейшие диэлектрические зеркала, известные также как распределённые брэгговские отражатели, являются одномерными ФК, образованными чередующимися слоями материалов с большим и меньшим показателями преломления. В ближайшем же будущем ожидается значительное расширение спектра устройств, в основе действия которых лежат эффекты, имеющие место в фотонно-кристаллических структурах. Среди них:

- Сверхминиатюрные ФК волноводы с микронным радиусом изгиба и малыми потерями;
- Фотонные интегральные схемы с высокой степенью интеграции на основе планарных ФК;
- ФК устройства оперативной оптической памяти, логические устройства;
- Сверхнизкопороговые и, возможно, полностью беспороговые ФК лазеры сверхмалых размеров;
- Средства доставки мощного лазерного излучения на основе фотонно-кристаллического волновода с полый сердцевинной;
- Сверхяркие ФК светодиоды с управляемым спектром излучения;
- ФК элементы оптических усилителей, переключателей и транзисторов;
- Миниатюрные ФК спектральные фильтры, в том числе перестраиваемые;
- ФК устройства обработки оптических сигналов;

- Чувствительные элементы и датчики для измерения температуры, давления, относительной влажности, интенсивности света, сил электрических и магнитных полей и т. д.;
- Анализаторы ионов и радикалов для определения химического состава среды;
- Микрорезонаторы на основе ФК;
- Метаматериалы на основе ФК;
- Фотонные сверхпроводники;
- Суперлинзы.

Вывод вполне очевиден: ФК позволят решить огромное множество проблем практически во всех областях человеческой деятельности, начиная с дизайна интерьера и заканчивая биомедициной, астрофизикой и космонавтикой.

В современных реалиях само по себе производство ФК с адекватным уровнем воспроизводимости является отдельной непростой технологической задачей. На сегодняшний день существует достаточно большое количество методов получения ФК структур, основанных на фундаментально разных физических принципах и явлениях. Разные авторы выделяют методы травления, голографические методы и методы самоорганизации, которые в значительной степени являются имитацией процессов, протекающих в живой и неживой природе [4]. К группе последних относятся естественная седиментация, вертикальное осаждение/вертикальное вытягивание, электрофорез и, наконец, рассматриваемый в данной статье метод центрифугирования [5]. Обычно каждый из перечисленных способов наиболее эффективен для получения ФК структур некой определённой размерности (одномерные 1D, двумерные 2D или трёхмерные 3D) и габаритов (тонкие нити/волноводы, плёнки или объёмные тела). Также немаловажно отметить, что все методы имеют свои достоинства и недостатки. В частности, центрифугирование применяется для получения 3D ФК плёнок относительно больших площадей. Суть метода состоит в том, что несколько капель коллоидного раствора микросфер помещают в центр быстровращающейся в горизонтальной плоскости подложки, после чего под действием центробежных сил раствор растекается по её поверхности, образуя плёнку (рис. 1). Процесс повторяют до тех пор, пока плёнка не достигнет требуемой толщины [6][7].

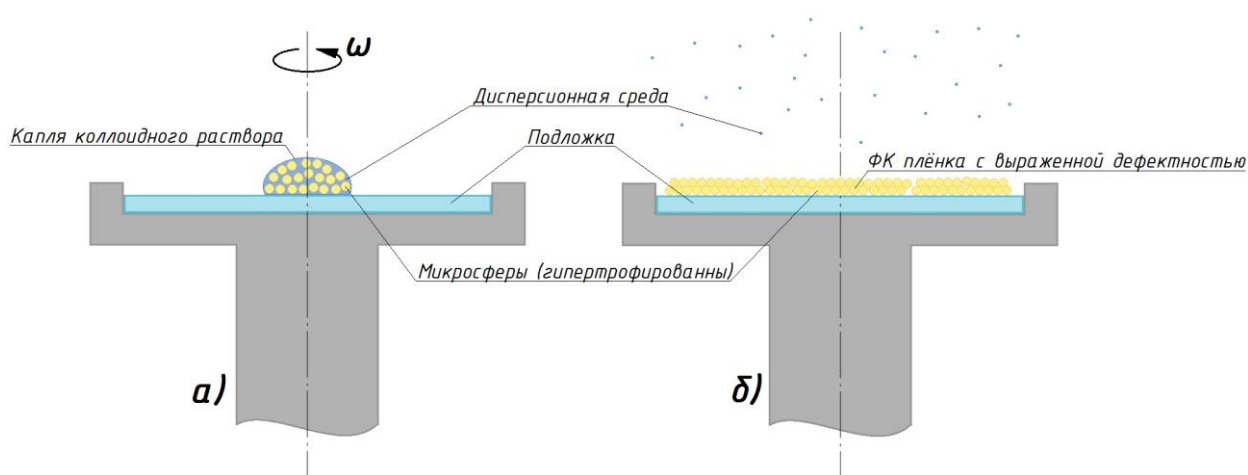


Рис. 1. Схема процесса получения ФК плёнки методом центрифугирования. а) Вращение подложки с нанесённой на неё каплей коллоидного раствора б) Результат

Центрифугирование характеризуется максимальной скоростью образования плёнки среди прочих методов самоорганизации, но уступает им по упорядоченности

получаемых структур в связи с их более выраженной дефектностью и нарушением периодичности. Это можно объяснить тем, что вследствие высокой скорости вращения центрифуги дисперсионная среда коллоидного раствора испаряется быстрее, чем успевает произойти разделение микросфер по размерам. Ключевым фактором, влияющим на упорядоченность структуры здесь является скорость вращения центрифуги [6][7].

В данной работе были подобраны технологические режимы для настольной лабораторной центрифуги СМ-6М | ELMi, которые обеспечивают удовлетворительное качество получаемых ФК плёнок с достаточным уровнем прецизионности.

## 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. Домкин К. И. Фотонные кристаллы и устройства // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». — 2012. — Т. 2.
4. Синицкий А. С. Синтез и оптические свойства фотонных кристаллов на основе диоксида кремния // Москва: Изд-во Московского гос. ун-та им. МВ Ломоносова. — 2003.
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.