

**УДК 621.38**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕПЛОТНО УПАКОВАННЫХ КОЛЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЗОЛЯ ТЭОС**

Нгуен Ван Куанг

*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»*

### **Введение**

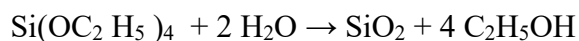
Неплотно упакованные (non close packed - NCP) коллоидные кристаллы (colloidal crystal - CC) привлекают большой интерес в последние годы к их фундаментальным и технологическое значение. В отличие от плотноупакованных коллоидных кристаллов они могут иметь настраиваемое расстояние между частицами и более широкую фотонную запрещенную зону, что делает их привлекательными материалами для фотонных устройств, таких как оптические переключатели, полностью оптические микросхемы и светодиоды. Двумерные (2D) NCP CC, в частности, нашли применение в качестве масок для микросферной литографии, настраиваемых супергидрофобных поверхностей, поверхностных плазмонных устройств, спектроскопии квантовых точек. 2D NCP CC можно получить такими методами как мягкая литография, контролируемое реактивное ионное травление, электростатика, темплатная сборка, оптическая пинцет, и манипулирование диполь-дипольным взаимодействием. Однако эти методы ограничены высокой производительностью стоимость или небольшая площадь изготовления.

Мы представляем простой одноэтапный метод совместной самосборки для изготовления 2D NCP CC с использованием полистирольных (PS) коллоидных сфер и тетраэтилортосиликатного (ТЭОС) золя. Полученные 2D NCP CC продемонстрировали дальний порядок в сантиметровом масштабе без трещин из-за добавления золя ТЭОС. Зазор между частицами NCP CC можно легко контролировать, изменяя количество золя ТЭОС, добавляемого в процессе сборки. Этот простой и недорогой метод обеспечивает платформу для изготовления высококачественных 2D NCP CC и может облегчить разработку различных приложений NCP CC.[1]

### **Теоретическая часть**

В этом методе PS микросферы диаметром в сотни нанометров, диспергированные в золе ТЭОС, самособираются с образованием CC монослоя. NCP без трещин с управляемым межсферическим зазором образуется за счет полимеризация золя ТЭОС в процессе самосборки. Этот несложный метод совместной самосборки может значительно снизить плотность трещин, что приводит к образованию высокоупорядоченные NCP CC на большой территории.

Гидролиз ТЭОС в присутствии воды и водных растворов минеральных кислот HCl происходит с отщеплением этанола и последующей конденсацией гидроксипроизводных. В зависимости от условий гидролиза (температура, тип катализатора, наличие органического растворителя) образование геля может происходить с различной скоростью:



В результате поликонденсации ТЭОС образуется тонкий слой  $\text{SiO}_2$  в междоузлиях сфер PS, который препятствует их плотной упаковке. Присутствие золя ТЭОС в коллоидной суспензии замедляет испарение среды в результате увеличения вязкости смеси и, таким образом, предоставляет коллоидным частицам иметь достаточно времени для организации в конфигурации с самой низкой энергией.

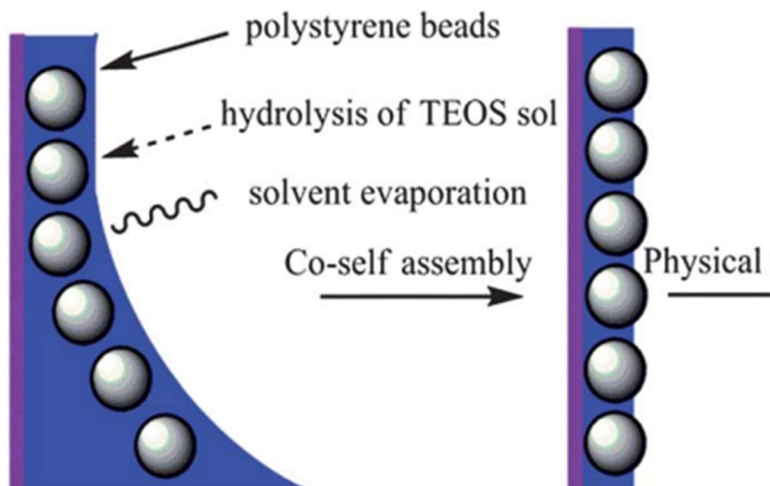


Рисунок 1 – Схема вертикального осаждения в присутствии ТЭОС [1]

### Экспериментальная часть

Изготовление NCP PS проводили в один этап путем совместной самосборки PS с добавлением золя ТЭОС. В процессе 80 мкл (диаметр 400 нм) 4 % коллоидной суспензии PS добавляли к 20 мл деионизованной воде и 20 мкл золя ТЭОС. Золь ТЭОС, состоящий из объема ТЭОС, этанола и 0,10 М HCl при соотношении 1 : 2 : 1 соответственно, перемешивали при комнатной температуре. Изготовление смеси за 30 мин до использования. Затем стеклянные подложки были вертикально подвешены в полученной смеси. Далее смеси медленно испаряются, выдерживаемые при температуре 45°C с помощью нагревателя. В результате на подложках образовывалась тонкая коллоидная пленка. Результаты эксперимента представлены на рисунках 2 и 3.

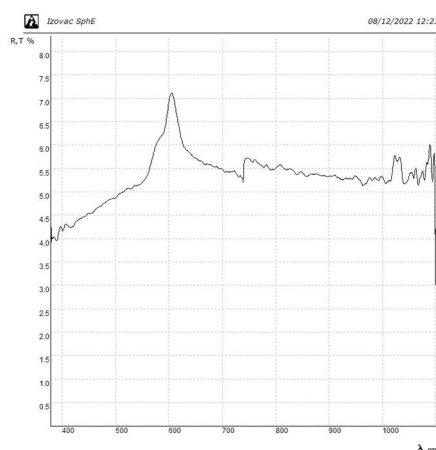
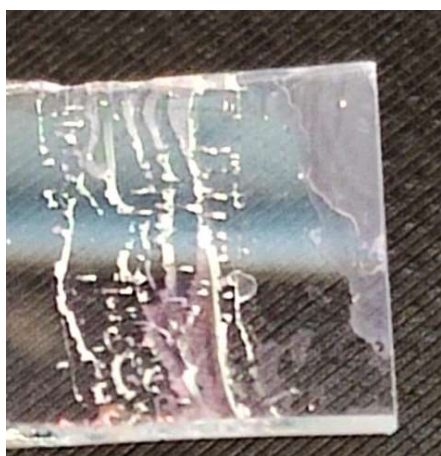


Рисунок 2– Внешний вид и спектр отражения пленки, полученной вертикальным осаждением

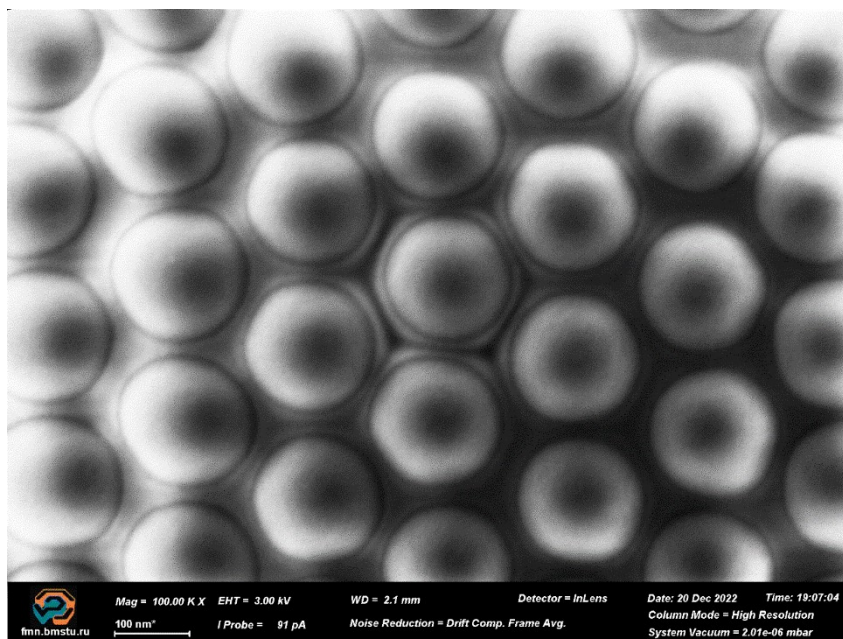


Рисунок 3 – СЭМ изображение пленки PS 400 нм, полученной методом вертикального осаждения с добавлением золя ТЭОС

Контроль pH раствора, варьирование составом основной среды и температурой позволит получать заданные параметры «неплотности».

### Заключение

Таким образом, 2D NCP CC были изготовлены с помощью простого метода совместной самосборки с использованием коллоидных сфер PS и золя ТЭОС. Размер и межчастичный зазор NCP CC может быть легко управляем количеством золя ТЭОС, добавляемого в процесс. Этот подход к изготовлению является экономически эффективным и может использоваться для получения высокоупорядоченных 2D NCP CC без трещин на большой площади с высокой кристалличностью. В дальнейшем мы планируем использовать полученные 2D NCP CC в технологии микросферной литографии.

### Литература

1. Cai Z. et al. Highly ordered and gap controllable two-dimensional non-close-packed colloidal crystals and plasmonic–photonic crystals with enhanced optical transmission //Journal of Materials Chemistry. – 2012. – Т. 22. – №. 47. – С. 24668-24675.