

УДК 621.38

**ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ МИКРОСФЕР В ТЕХНОЛОГИИ НЕПЛОТНО
УПАКОВАННЫХ КОЛЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ**

Као Ван Хоа

*Студент 1 курса, магистр 1 года**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»*

Фотонно – кристаллические (ФК) наноструктуры представляют значительный практический интерес, особенно в связи с возможностями использования их оптических свойств в нанотехнологии.

Благодаря периодическому изменению коэффициента преломления фотонные кристаллы позволяют получить разрешённые и запрещённые зоны для энергий фотонов, аналогично полупроводниковым материалам, в которых наблюдаются разрешённые и запрещённые зоны для энергий носителей заряда. Практически это значит, что если на фотонный кристалл падает фотон, обладающий энергией (длиной волны, частотой), которая соответствует запрещённой зоне данного фотонного кристалла, то он не может распространяться в фотонном кристалле и отражается обратно.

В настоящее время одной из наиболее распространенных структур фотонного кристалла является плотно упакованный коллоидный кристалл (close packed colloidal crystal CP CC). Он состоит из пространственных упорядоченных сферических коллоидных микрочастиц. В этой кристаллической структуре коллоидные сферы расположены близко друг к другу с симметричной гексагональной структурой, и расстояние между сферами равно их диаметру. [1]

Однако плотно упакованные коллоидные (CP CC) сферы не являются лучшими топологиями для реализации фотонной запрещенной зоны. Недавно в нескольких научных работах было показано, что структуры с неплотной упаковкой могут улучшить характеристики фотонной щели. Неплотно упакованные коллоидные кристаллы (NCP CC) также состоит из коллоидных сфер, равномерно распределенных гексагонально-симметрично, но в этой структуре расстояния между сферами больше, чем их диаметры (рис. 1).

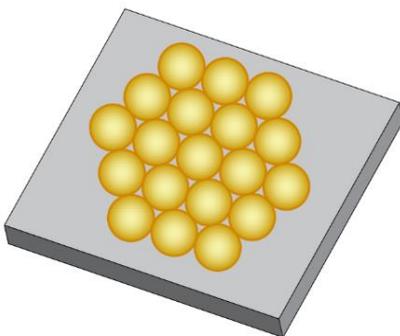


Рисунок 1 - Плотно упакованный коллоидный кристалл (CP CC)

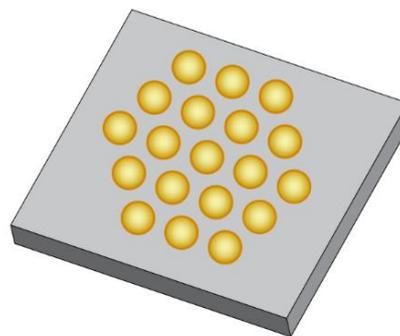


Рисунок 2 - Неплотно упакованный коллоидный кристалл (NCP CC)

Как показано выше, неплотно упакованные кристаллические структуры (NCP CC) обладают управляемыми характеристиками. С целью создания NCP CC одним из самых эффективных и популярных методов является метод преобразования из CP CC в NCP CC с помощью плазменного травления.



Рисунок 3 - Преобразование из CP CC в NCP CC методом плазменного травления

На процесс травления, следовательно, на получаемый диаметр сферы наибольшее влияние оказывают расход газа и время травления [2].

По физико-химическому механизму взаимодействия поверхности твердого тела с частицами плазмы можно условно разделить все процессы «сухого» травления на три группы: ионное распыление, плазмохимическое травление и реактивное ионное травление. В данной работе реализован процесс плазменного травления монослойной структуры CP CC полистирола в смеси аргона и кислорода. Экспериментальный процесс состоял из последовательных операций, представленных на рис. 4. Основными этапами были осаждение монослоя из коллоидного раствора методом вертикального вытягивания и ее плазменное травление. Оба этапа сопровождались операциями контроля на сканирующем электронном микроскопе. Параметры процессов представлены в Таблице 1.

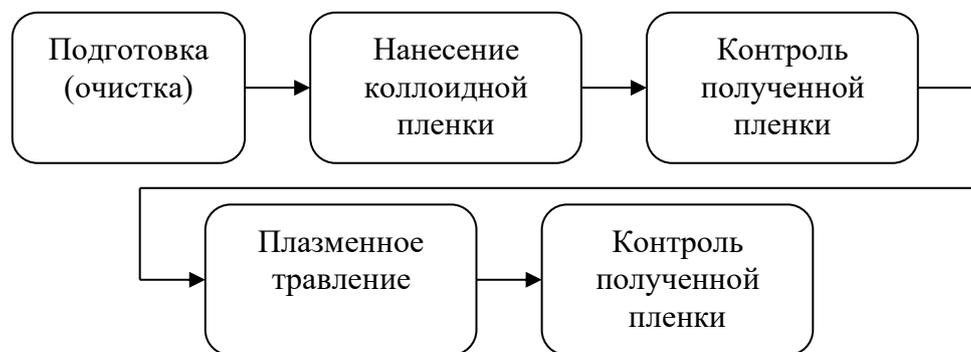


Рисунок 4 – Порядок подготовки образцов

Таблица 1. Результат эксперимента

Параметры процесса формирования монослоя:	Параметры плазменного травления пленки:
<ul style="list-style-type: none"> • Концентрация раствора: 1% • Скорость вытягивания: 0,3 мм/мин • Диаметр микросфер: 300 нм • Время: 30 мин 	<ul style="list-style-type: none"> • Расход Ar: 25 сссм • Расход O₂: 75 сссм • Время травления: 90с • Температура: 25°C • Давление: 100 мТ

В результате использования указанных режимов сферы были удалены практически полностью, на подложке осталось лишь небольшое количество материала.

Кроме того на поверхности подложки образовались углубления, образующие упорядоченный рисунок (рис. 5).

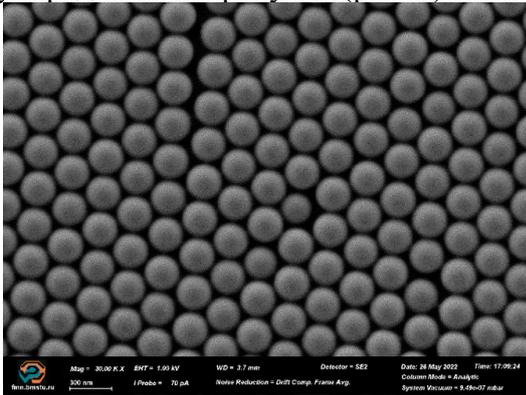


Рисунок 5 – СЭМ изображение пленки до плазменной обработки

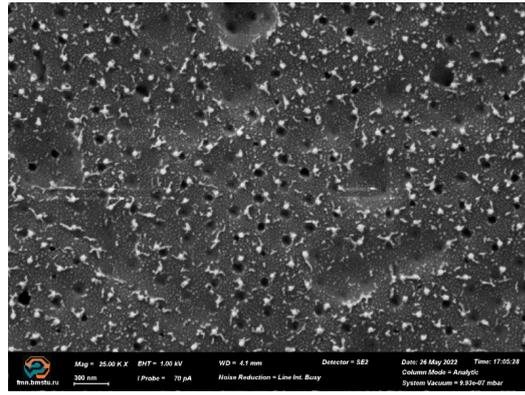


Рисунок 6 – СЭМ изображение получаемой пленки после плазменной обработки

Изначально мы предположили, что при плазменной обработке матрица сфер полистирола играет роль маски или шаблона. Поэтому плазмохимическая обработка подложки происходит прежде всего в межсферическом пространстве, где и образуются углубления (рис. 7).

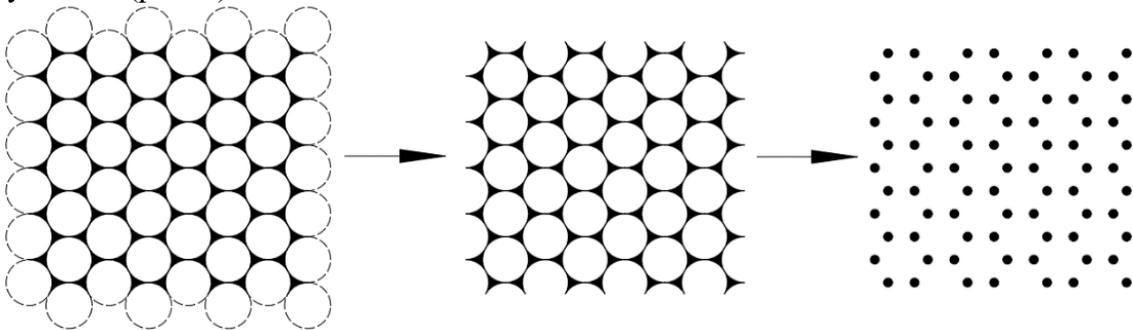


Рисунок 7 – Предполагаемая схема образования углублений на подложке

Однако фактический результат, обнаруженный на СЭМ изображении (рис. 6), не совпадает с представленной схемой.

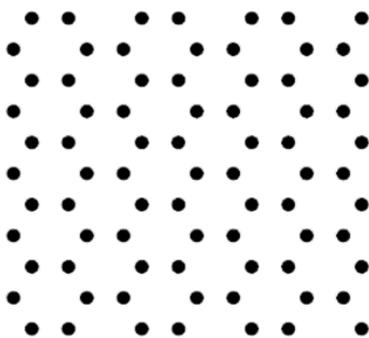


Рисунок 8 – гипотетическое расположение

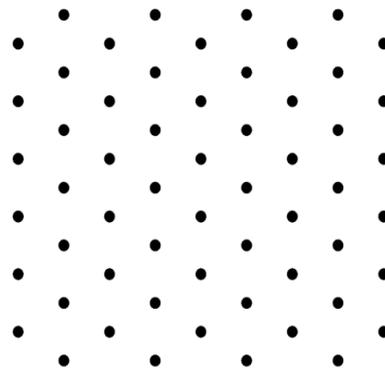


Рисунок 9 – фактическое расположение

Оказывается, расположение углублений совпадает с расположением центров микросфер. Судя по всему, диоксид кремния, образующийся в плазме в среде кислорода на участках кремниевой подложки, свободных от микросфер поверхности, выполняет роль маски (рис. 10). На участках со слоями SiO₂ травление затруднено, и материал подложки травится только в тех местах, где находились микросферы, после их удаления (рис. 11).

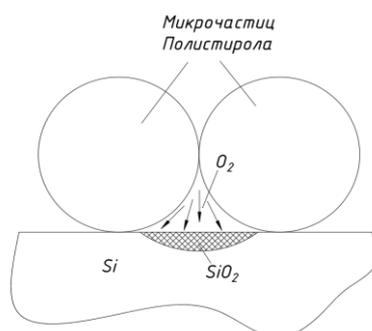


Рисунок 10 - Образование диоксида кремния на поверхности подложки кремния

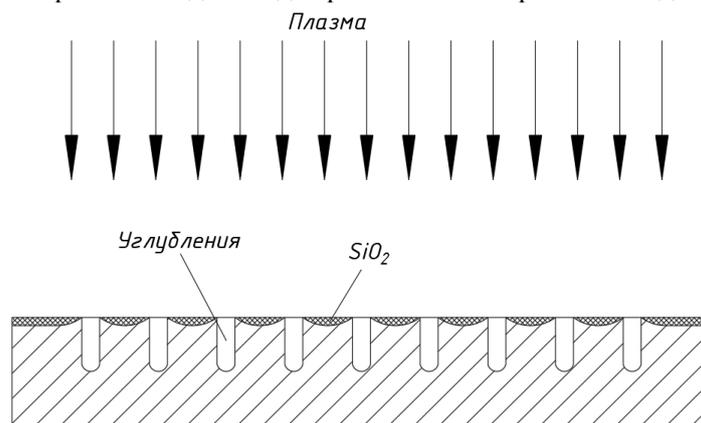


Рисунок 11 - Образование углублений на поверхности кремниевой подложки

Вышеприведенная гипотеза еще нуждается в экспериментальной проверке. При ее подтверждении представленная технология может быть использована для образования нанопериодических структур различного назначения.

Литература

1. *Roberto Fenolosa, Francisco Meseguer. Non-Close-Packed Artificial Opals // Advanced Materials 15(15):1282 – 1285, 2003.*
2. *Галперин В. А, Данилкин Е. В, Мочалов А. И. Издательский дом ВГУ. Плазменные технологии в микроэлектронике. Учебно-методическое пособие для вузов. 2014, часть 1.*