

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК ПОЛИСТИРОЛА

Као Ван Хоа, Нгуен Ван Куанг, К.Р.Минько, Е.В.Панфилова

АННОТАЦИЯ

Коллоидные пленочные структуры являются перспективным для наноинженерии материалом. Плотность упаковки коллоидных микросфер является одной из основных характеристик структуры таких пленок. Варьируя ее, можно изменять параметры фотонной запрещенной зоны пленки и формируемой на ее основе инверсной структуры, форму и размер наночастиц, получаемых в процессе микросферной литографии. Наиболее технологичным способом получения структуры с заданной плотностью упаковки микросфер является плазмохимическое травление готовых плотноупакованных коллоидных пленок. В результате изменяется не только плотность упаковки, но и диаметр микросфер. Объектом исследования в данной работе являются монослойные фотонно-кристаллические структуры на основе микросфер полистирола, полученные методом вертикального осаждения. Показаны результаты экспериментальных исследований влияния параметров процесса плазменной обработки на параметры коллоидной структуры. Дано объяснение механизму процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ (ФК), КОЛЛОИДНЫЕ ПЛЕНКИ, КОЛЛОИДНЫЙ ПОЛИСТИРОЛ, ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PLASMA-CHEMICAL ETCHING OF COLLOIDAL POLYSTYRENE FILMS

Cao Van Hoa, Nguen Van Kuang, K.R.Minko, E.V.Panfilova

ABSTRACT

Colloidal film structures are a promising material for nanoengineering. The packing density of colloidal microspheres is one of the main characteristics of the structure of such films. By varying it, one can change the parameters of the photonic band gap of the film and the inverse structure formed on its basis, as well as the shape and size of nanoparticles obtained in the process of microsphere lithography. The most technologically advanced way to obtain a structure with a given packing density of microspheres is plasma-chemical etching of finished close-packed colloidal films. As a result, not only the packing density changes, but also the diameter of the microspheres. The object of study in this work is monolayer photonic crystal structures based on polystyrene microspheres obtained by vertical deposition. The results of experimental studies of the influence of the parameters of the plasma treatment process on the parameters of the colloidal structure are shown. An explanation of the mechanism of the process is given.

KEYWORDS

PHOTONIC CRYSTAL, COLLOIDAL FILM, COLLOIDAL POLYSTYRENE, PLASMA ETCHING

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из наиболее распространенных структур фотонного кристалла является плотно упакованный коллоидный кристалл (close packed colloidal crystal). 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 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 также состоит из коллоидных сфер, равномерно распределенных гексагонально-симметрично, но в этой структуре расстояния между сферами больше, чем их диаметры (рис. 1).

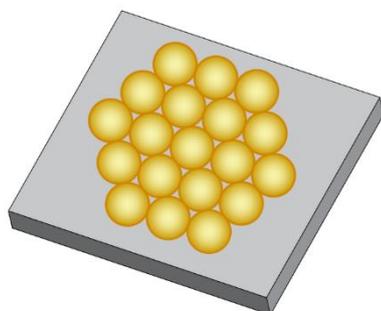


Рис. 1 - Плотно упакованный коллоидный кристалл

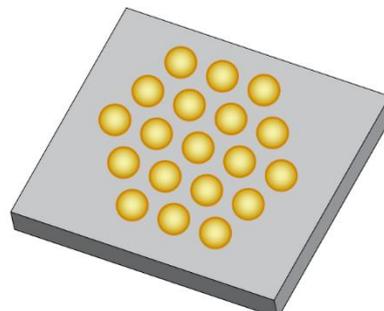


Рис. 2 - Неплотно упакованный коллоидный кристалл

Одним из самых эффективных и технологичных методов создания неплотно упакованных коллоидных кристаллов может быть преобразование готовой коллоидной пленки с плотно упакованными микросферами в структуру с неплотной упаковкой с помощью плазменного травления.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

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 СР СС полистирола в смеси аргона и кислорода. Экспериментальный процесс состоял из последовательных операций, представленных на рис. 3. Основными этапами были осаждение монослоя из коллоидного раствора методом вертикального вытягивания и его плазменное травление. Оба этапа сопровождалась операциями контроля на сканирующем электронном микроскопе.

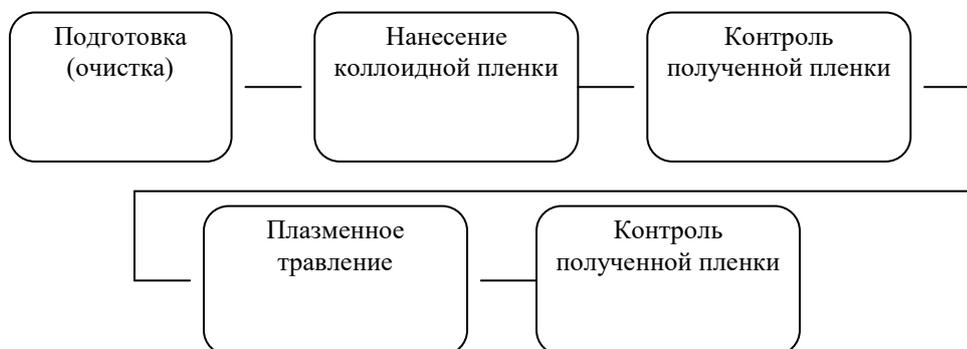


Рис. 3 – Порядок подготовки образцов

Параметры процессов представлены в Таблице 1. На процесс травления, а, следовательно, на получаемый диаметр микросферы наибольшее влияние оказывают расход газа и время травления [2,3]. Именно эти параметры варьировались в ходе исследования.

Режимы процесса

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: 200нм...300 нм • Время: 30 мин 	<ul style="list-style-type: none"> • Расход Ar: 10 sccm ...25 sccm • Расход O₂: 10 sccm ...75 sccm • Время: 10с...90с • Температура: 25°C • Давление: 100 mT

Получаемые образцы исследовались методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе ZEISS SmartSEM.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате использования указанных режимов при продолжительности процесса травления 10с...20с и расходе газов 10 sccm обнаружено, что диаметр микросфер ожидаемо уменьшался. При этом изменялся рельеф поверхности микросфер, он становился более развитым (рис. 4,5).

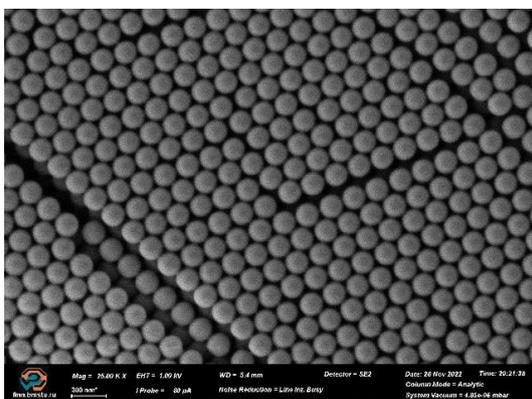


Рис.4 – СЭМ изображение пленки полистирола 200 нм до плазменной обработки

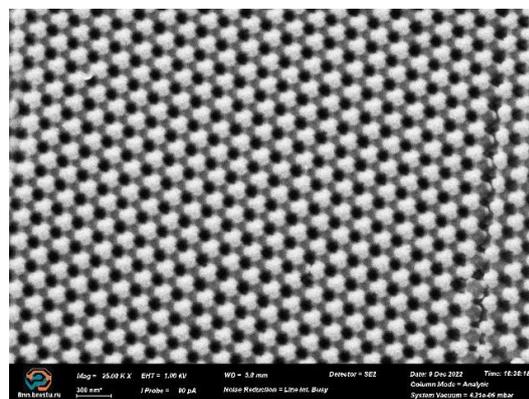


Рис. 5 – СЭМ изображение пленки полистирола 200 нм после плазменной обработки в течение 20 с

При увеличении продолжительности плазмохимической обработки до 90 с микросферы и расхода газов до 25 sccm для Ar и 75 sccm для O₂ были удалены практически полностью, на подложке осталось лишь небольшое количество материала. Кроме того на поверхности подложки образовались углубления, образующие упорядоченный рисунок (рис. 6,7).

Изначально мы предположили, что при продолжительной плазменной обработке матрица сфер полистирола играет роль маски или шаблона. Соответственно, травление происходит прежде всего в межсферическом пространстве, где и образуются углубления (рис. 8). Однако фактический результат, обнаруженный на СЭМ изображении (рис. 7,9), не совпадает с представленной схемой. 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).

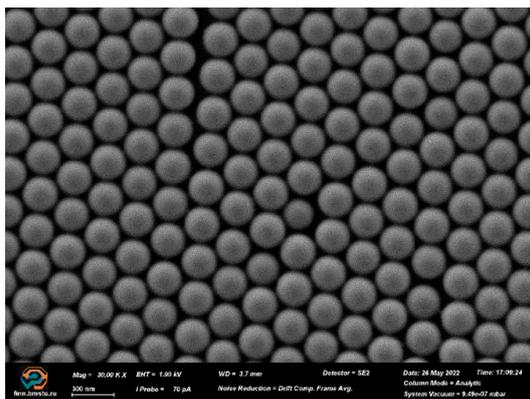


Рис.6 – СЭМ изображение пленки полистирола 300 нм до плазменной обработки

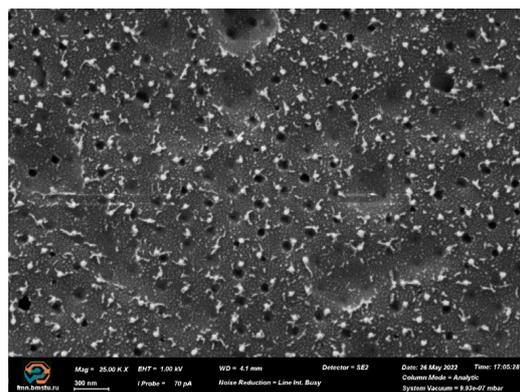


Рис. 7 – СЭМ изображение пленки полистирола 300 нм после плазменной обработки в течение 90 с

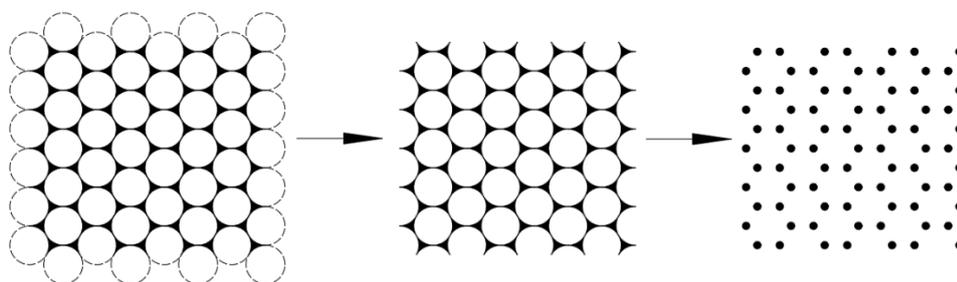


Рис. 8 – Предполагаемая схема образования углублений на подложке

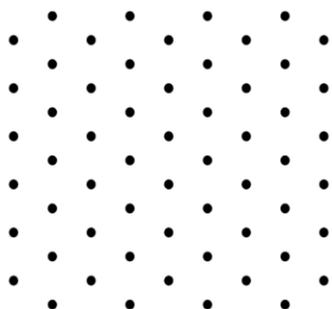


Рис. 9 – Фактическое расположение углублений

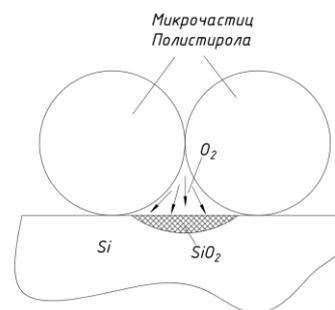


Рис. 10 – Образование диоксида кремния на поверхности подложки кремния

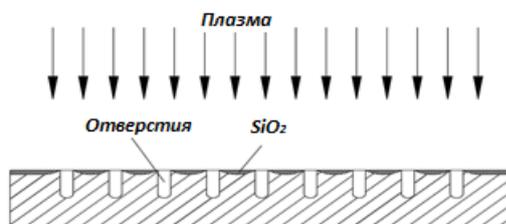


Рис. 11 - Образование углублений на поверхности кремниевой подложки

Данная гипотеза еще нуждается в экспериментальной проверке и уточнении. Также будут продолжены исследования в середине используемых в работе диапазонов параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате представленных выше исследований, обнаружено, что плазмохимическая обработка является технологичным инструментом воздействия на параметры структуры коллоидной пленки. При ее использовании можно регулировать не только плотность упаковки микросфер, но и их диаметр и форму. Таким образом, будут изменены параметры фотонной запрещенной зоны, но и параметры получаемых на основе пленки инверсных структур и массивов наночастиц. Представленная технология может быть использована для получения нанопериодических структур различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roberto Fenollosa, 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.
3. Гильман А. Б., Потапов В. К. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов // *Прикладная физика*. – 1995. – Т. 3. – С. 4.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Као Ван Хоа, Студент, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, kv18it07@student.bmstu.ru

Нгуен Ван Куанг, Студент, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, nguenv5@student.bmstu.ru

К.Р.Минько, Студент, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Konstantin.minko@ya.ru

Е.В.Панфилова, Доцент, кандидат технических наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, (ORCID: 0000-0001-7944-2765), panfilova.e.v@bmstu.ru