

**Влияние морфологии пленки серебра на формирование и оптические свойства кремниевых нанонитей, полученных методом металл-стимулированного химического травления**

**Ермина А.А.** (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, ФТИ им. А.Ф. Иоффе), **Толмачёв В.А.** (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), **научный руководитель** – с.н.с., к.ф.-м.н. **Жарова Ю.А.** (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

**Аннотация.** Целью работы является исследование морфологии островкового слоя серебра, сформированного при его химическом осаждении из раствора, в зависимости от различных параметров: концентрации раствора и времени осаждения катализатора, так как развитие и топология кремниевых нанонитей (КНН) в процессе металл–стимулированного химического травления (МСХТ) зависят от состояния плёнки серебра. Проанализировав зависимость результатов, полученных при варьировании параметров, можно научиться управлять процессом МСХТ на начальном этапе.

**Введение.** Кремний (Si) в течение многих десятилетий нашел широкое использование в таких областях как электроника, фотоника, преобразование и сохранения энергии и т.д. В последние десятилетия стали актуальны исследования уникальных свойств Si, но уже в виде функциональных объектов малых размеров (наноструктур), которые показали перспективность этого направления науки и техники, а также необходимость развития нанотехнологий для их получения. Существуют различные виды синтеза наноструктур из кремния. К одним из наиболее перспективных материалов можно отнести КНН. В настоящее время аналогом в получении КНН выступает металл–стимулированное химическое травление МСХТ, который, в свою очередь, приобрёл особую популярность благодаря низкой стоимости, отсутствию необходимости приобретения дорогостоящего оборудования, применимости для полупроводников с широким диапазоном характеристик (тип проводимости, степень легирования, ориентация).

**Основная часть.** Метод МСХТ является нисходящим подходом формирования наноструктур. Существует два варианта МСХТ с одноступенчатой (МСХТ-I) и двухступенчатой (МСХТ-II) реакциями. В данной работе исследуется двухстадийная реакция, где на первой стадии, на очищенной пластине кремния путем химического осаждения формируется несплошная пленка металла-катализатора. На втором этапе полученные образцы погружаются в раствор, состоящий из травителя и окислителя. Происходит распад окислителя с образованием потока дырок, окисляющих кремний, так как имеется разница электрохимических потенциалов кремния и металла. Травитель растворяет образованный диоксид кремния, таким образом, частицы металла опускаются на дно структуры, растворяя Si в окрестности себя. В результате происходит анизотропное травление и формирование структур различной морфологии.

В данной работе было изучено формирование островковой плёнки серебра, где с увеличением концентрации  $\text{AgNO}_3$  в растворе для осаждения  $0,02\text{M AgNO}_3 + 5\text{M HF}$  от 1:10 до 1:1 происходит увеличение частиц серебра от мелких сферических до многоярусной структуры. Для выбранного раствора в соотношении 1:1 было исследовано влияние времени осаждения на морфологию плёнки серебра, где с увеличением времени происходит трансформация плоской островковой плёнки в более развитую структуру.

Получаемые структуры на всех стадиях МСХТ исследовались с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ), атомно-силовой микроскопией, а также методом многоугловой спектральной эллипсометрии. Использование эллипсометрии в сочетании с методами РЭМ и АСМ позволило отследить оптические и морфологические характеристики структур в этом процессе.

Измерив эллипсометрические углы  $\Psi$  (отношение амплитудных коэффициентов отражения, измеренных при p- и s-поляризациях света) и  $\Delta$  (сдвиг фазы между ними) и

использовав основное уравнение эллипсометрии, были найдены действительная и мнимая части диэлектрической функции. Мнимая часть диэлектрической функции  $\varepsilon_2$  зависит от морфологии образца в видимом и ближнем ИК диапазоне, но положение пика с энергией  $E = 3.8$  эВ не зависит от морфологии, толщины слоев наночастиц Ag. Для толщин слоев Ag от 5 до 60 нм формируется пик, обусловленный объемным плазмонным резонансом, возникающий в продольной моде, распространяющейся вдоль плоскости подложки.

Представлены спектры и 3х-слойная модель островковой плёнки серебра на подложке кремния в рамках аппроксимации эффективной среды Бруггемана ( $0.3 < f < 0.7$ ) и Максвелла Гарнетта ( $f < 0.3$ ) для нахождения толщины и доли серебра в каждом слое, где  $f$  – это доля серебра в слое. Для нижнего слоя использовалась модель Максвелла Гарнетта, так как там  $f_{\text{air}} \approx 30\%$ , оставшиеся два слоя аппроксимировались с помощью эффективной среды Бруггемана. Добившись наилучшей сходимости, можно сказать, что общая толщина слоя серебра равна  $d_{\text{Ag}} = 46 \pm 5$  нм, что согласуется с толщиной, полученной с изображений АСМ.

**Выводы.** Как видно из полученных результатов, метод МСХТ высокочувствителен к изменению внешних условий. Хорошая сходимость результатов в рамках аппроксимации эффективной среды Бруггемана и Максвелла Гарнетта для двухкомпонентной трехслойной модели показывает высокую эффективность эллипсометрических исследований на ранних стадиях МСХТ.