**Формирование наночастиц Ag в пленках Ag-Si, полученных ионно-лучевым распылением**

***В.В. Бабаков, К.А. Барков, В.А. Терехов, С.А. Ивков, Д.Н. Нестеров***

*1-Воронежский государственный университет, физический факультет, Воронеж, Россия*

*barkov@phys.vsu.ru*

Наноструктурированные композитные материалы, содержащие наночастицы серебра, являются перспективным материалом для технологии изготовления SERS-подложек, используемых для наблюдения эффекта поверхностно усиленного комбинационного рассеяния (гигантское рамановское рассеяние) [1], а также могут обладать рядом уникальных свойств, такими как высокая фоточувствительность и усиление фототока. Для получения данных нанокомпозитов, как правило, используют такие методы как магнетронное напыление, ионно-лучевое распыление, лазерную абляцию и т.д. При этом в композитной пленке могут происходить сложные межфазные взаимодействия с формированием метастабильных фаз [2], обладающих не характерными для стабильных фаз свойствами. Поэтому вопрос о фазовом составе пленок Ag-Si, полученных в неравновесных условиях, требует детального изучения

Нанокомпозитные пленки Ag-Si (толщиной 1мкм) с различным содержанием Si (от 21% до 47%) были получены с помощью ионно-лучевого распыления на подложках Si (100) в вакууме при давлении 1\*10-5 torr. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре PANalytical Empyrean, элементный состав исследовался на РЭМ JEOL JSM-6380LV с системой микроанализа INCA 250, электронное строение валентной зоны пленок Ag-Si анализировалось по ультрамягким рентгеновским эмиссионным Si*L2,3*-спектрам на рентгеновском спектрометре-монохроматоре РСМ-500 при энергии первичных электронов 1kV (глубина анализа ~10 нм) [3]. Для определения микрорельефа, и фактора шероховатости поверхности использовался метод АСМ на сканирующем зондовом микроскопе Solver P47. На специальной измерительной установке рассчитаны ВАХи пленок на постоянном токе в диапазоне напряжений от -5 до 5 В с шагом 0,2 В.

Результаты рентгенодифрактометрических исследований показывают, что Ag в композитной пленке находится в нанокристаллическом состоянии, что хорошо видно по уширению дифракционной линии Ag(111), в то время как фаза кристаллического кремния отсутствует. При этом с увеличением содержания Si в пленках Ag-Si средние размеры нанокристаллов Ag в образцах уменьшаются от 15 нм (содержание Si~21%) до 10 нм вплоть до состава с содержанием Si~47%. Что хорошо согласуется с данными, полученными методом атомно-силовой микроскопии, где средние размеры нанокристаллов составили 8 нм. Кроме того, в образце с содержанием Si~47% наблюдается значительная асимметрия рефлекса Ag(111), что может быть связано с формированием твердого раствора на основе серебра, как это было ранее обнаружено в пленках Al-Si [2].

В то же время, результаты анализа фазового состава пленок Ag-Si по рентгеновским эмиссионным Si*L2,*3-спектрам показывают, что кремний в пленках находится в основном в виде аморфного кремния (*a*-Si~60%) и субоксида кремния (SiOx ~40% со степенью окисления «*х*» ~1.9).

Также по данным вольт-амперных характеристик в пленках Ag-Si была обнаружена зависимость роста электрического сопротивления от ~2,5 до ~55 Ом, с увеличением содержания кремния от ~21% до ~47%. При этом пленка с содержанием кремния ~21% демонстрирует переключение из высокоомного состояния (~934 Ом) в низкоомное (~1 Ом) то есть обладает мемристорным эффектом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10294, <https://rscf.ru/project/23-79-10294/>.

1. С. Шлюкер. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (SERS). Техносфера, **2017**. 332 с.

2. V.A. Terekhov et al.// *Phys. Solid State*. **2018.** V. 60. P. 1021–1028.

3. Ультрамягкая рентгеновская спектроскопия/ Т.М. Зимкина, В.А. Фомичев. – Изд-во Ленинградского университета, **1971**. – 132 с.