

ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА-ОЛОВА ПРИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЯХ ИОНОВ

ION-PLASMA MODIFICATION OF THE SURFACE OF LEAD-TIN TELLURIDE FILMS AT LOW ION ENERGIES

С. П. Зимин^{1, 2, *}, И. И. Амиров^{2, **}, В. В. Наумов², Я. Д. Белов^{1, 2},
E. Abramof³, P.H.O. Rappl³



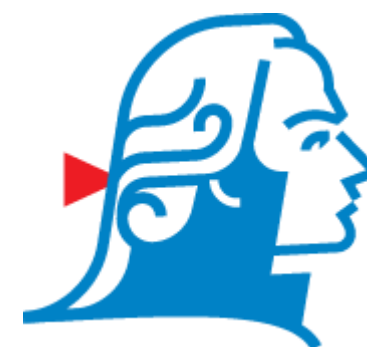
¹ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, 150003 Россия

² Ярославский филиал Физико-технологического института РАН, Ярославль, 150007

Россия

³ Laboratório Associado de Sensores e Materiais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brazil

*e-mail: zimin@uniyar.ac.ru, **e-mail: ildamirov@yandex.ru



Введение

Среди методов наноструктурирования полупроводников IV-VI хорошо зарекомендовали себя методы ионно-плазменной обработки, позволяющие управлять архитектурой и параметрами создаваемых наноструктур в широких пределах. Процессы формирования наноструктур в сильной степени зависят от содержания олова и протекают по различным механизмам, приводя к различной форме нанообъектов на поверхности[1].

Целью работы является исследование модификации поверхности эпитаксиальных пленок халькогенидов свинца-олова при обработке ионами вблизи порога распыления[2,3], для чего было проведено изучение изменения морфологии поверхности пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe/BaF_2$ при плазменной обработке ионами аргона с энергией 25 эВ продолжительностью 60-240 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Пленки тройного твердого раствора $Pb_{1-x}Sn_xTe$ толщиной 1-2 мкм были выращены на поверхности свежесколотых подложек (111) BaF_2 методом молекулярно-лучевой эпитаксии на установке Riber 32 P (INPE, Brazil)

Ионно-плазменное распыление осуществлялось при нулевой мощности смещения на электроде-подложкодержателе, что позволяло достичь значений энергии ионов аргона ~25 эВ. Длительность плазменной обработки варьировалась в пределах от 60 до 240 с, в отдельных случаях время обработки целенаправленно увеличивалось до 600 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальное определение скоростей распыления для пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe$, проведенное по высотам ступеней травления под маскирующим покрытием при определенном времени обработки, показало, что скорости травления в сильной степени зависят от содержания олова в твердом растворе. Если для теллурида свинца скорость распыления составляла 0.7 нм/с, то для $x=0.2$ и $x=0.8$ она уменьшалась до 0.4 и 0.2 нм/с, соответственно.

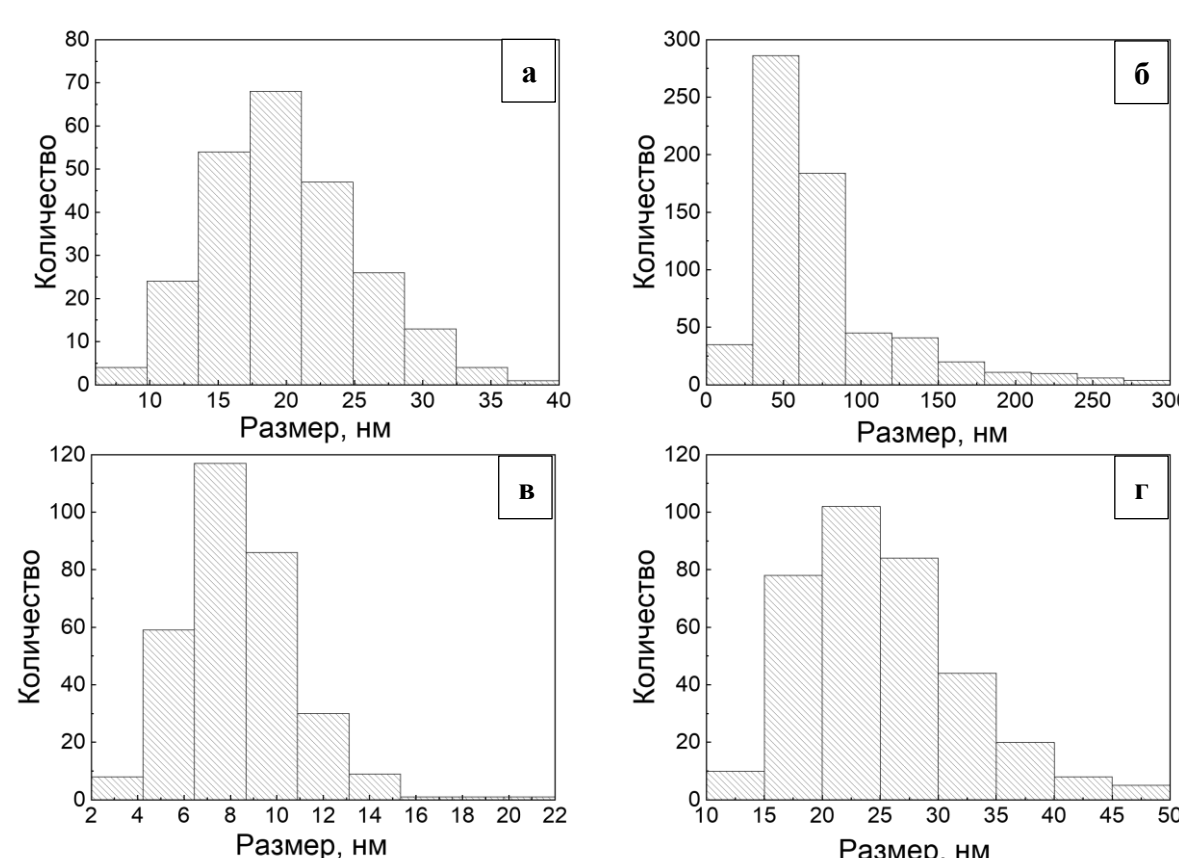


Рис. 3 Гистограммы распределения латеральных размеров частиц на поверхности пленки PbTe (а,б) и $Pb_{1-x}Sn_xTe$ (в,г) после плазменной обработки в течение 60 и 240 с. для каждого состава соответственно

После начальной обработки продолжительностью 60 с (рис. 1,а) поверхность пленки покрывается ансамблем однородных наноструктур квазисферической формы с размерами 10-20 нм (рис. 3,а) и с поверхностной плотностью $\sim 2 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Латеральные размеры крупных квазисферических образований (рис.3,б) при увеличении времени обработки увеличились с 90-130 нм для 180 с до 150-250 нм для 240 с.

Воздействие плазмы в течение 60 с привело (рис.3,в) к формированию на поверхности однородного ансамбля наноструктур в виде полусфер с латеральными размерами (рис.2,а) 6-12 нм. Поверхностная плотность наноструктур составляла $\sim 1.4 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$. При плазменной обработке в течение 240 с (рис.2,г) появляется спичковидная структура, длина стержней увеличился до 25 нм. Диаметр шапки до 30 нм (рис. 3,г)). Поверхностная плотность наноструктур при времени обработки 240 с составляла $3.5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$

Выводы

Модификация поверхности эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Sn_xTe$ при ионно-плазменном распылении ионами аргона с энергией 25 эВ происходит по различным механизмам, зависящим от x .

Для $x < 0.6$ имело место формирование мелких и крупных выступов (рис.1), при этом последние являются частично ограниченными полыми металлическими структурами (рис.1,г).

Для $x > 0.6$ при ионно-плазменной обработке ионами аргона с энергией 25 эВ происходило формирование ансамблей вертикальных наностержней, на вершинах которых находились квазисферические металлические шапки (рис.2). Рост таких наноструктур осуществлялся по механизму ПЖК [1]

Литература

1. Zimin S.P., Gorlachev E.S., Amirov I.I., Naumov V.V., Juskenas R., Skapas M., Abramof E., Rappl P.H.O. // Semicond. Sci. Technol. 2019. V. 34. № 9. P.095001
2. Зимин С.П., Амиров И.И., Наумов В.В., Гусева К.Е. // Письма в журнал технической физики. 2018. Т 12. С. 32.
3. Амиров И.И., Зимин С.П., Наумов В.В., Гусева К.Е. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2020. № 11. С. 68.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ЯФ ФТИАН им. К.А. Валиева РАН, проект № 0066-2019-0002 и в рамках инициативной НИР ЯргУ. РЭМ-исследования проведены в ЦКП "Диагностика микро- и наноструктур" при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

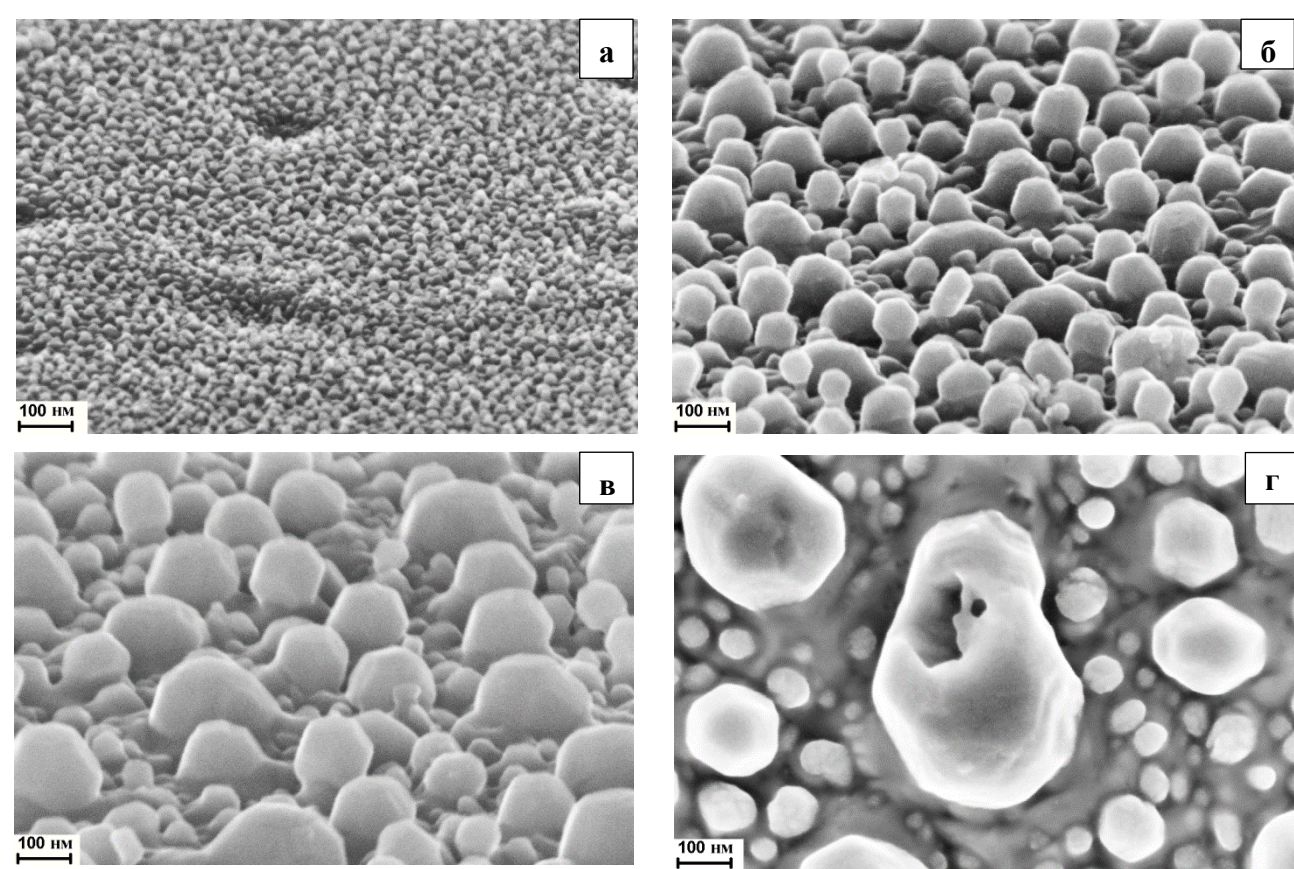


Рис. 1 Модификация поверхности пленки PbTe после плазменной обработки в течение 60 (а), 180 (б) и 240 с (в). Снимки сделаны под углом 70°. Полая структура PbTe после обработки 420 с.(г)

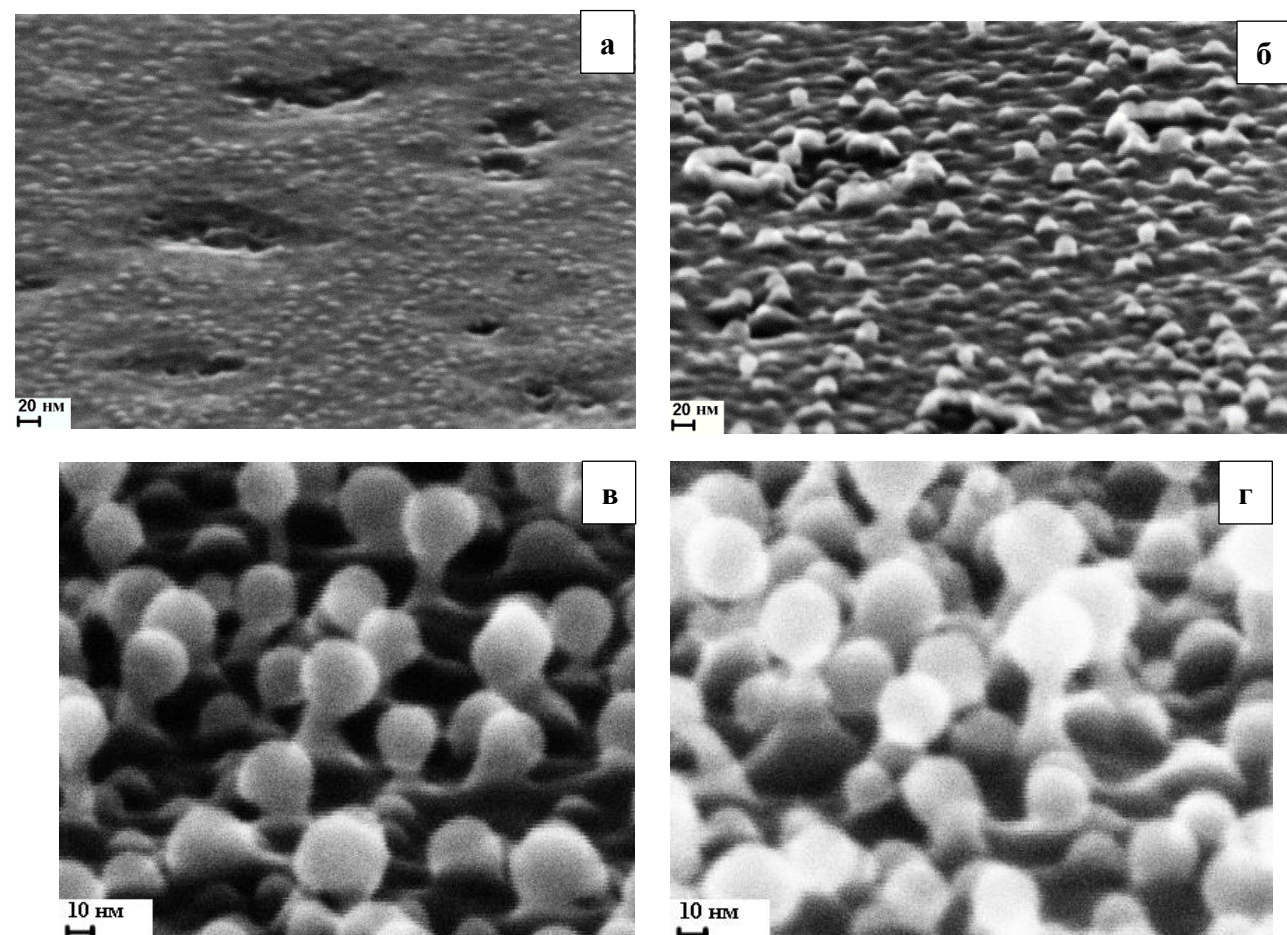


Рис. 2 Модификация поверхности пленки $Pb_{0.2}Sn_{0.8}Te$ после плазменной обработки в течение 60 с (а), 120 с (б), 180 с (в) и 240 с (г). Угол наклона при съемке 70°