**Угловые зависимости распыления InP фокусированным пучком ионов галлия**

**Лобзов К.Н.1, *Смирнова М.А.*2*, Мазалецкий Л.А.*3*, Пухов Д.Э.*3**

1студент, 2аспирант, 3сотрудник

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова,

физический факультет, Ярославль, Россия

E–mail: *kostya.lobzov@mail.ru*

Распыление фокусированным ионным пучком (ФИП) находит всё большее распространение в современной микро- и наноэлектронике как метод формирования наноструктур контролируемых размеров на поверхности материалов, а интерес к исследованиям взаимодействия ФИП с поверхностью в последнее время неуклонно растёт. Однако, наноструктурирование ионным пучком обладает рядом специфических особенностей, таких как развитие рельефа поверхности, распыление переосажденного материала, влияние имплантированных ионов на выход распыления и т.д. Таким образом, существует потребность в достоверном экспериментальном измерении основных характеристик распыления и изучении факторов, оказывающих на них влияние.

На сегодняшний день в литературе представлен значительный объём экспериментальных и теоретических данных относительно ионного распыления наиболее распространённых в нанотехнологии чистых материалов, таких как Si, C, Ge и их соединений. В то же время, до сих пор существует очень мало исследований, посвящённых распылению ФИП составных соединений, в частности полупроводников группы A3B5, хотя роль последних в современной наноиндустрии неуклонно растёт. Потребность в качественных экспериментальных результатах для данной группы материалов послужила поводом для проведения настоящего исследования.

В данной работе экспериментально получены угловая и дозовая зависимости коэффициента распыления (Y) фосфида индия (InP) при бомбардировке ионами Ga+ с энергией 30 кэВ на установке Quanta 3D 200i от FEI™. Угол падения ионов θ изменялся от 0 до 85⁰, флюенс D – от 1015 до 1018 см-2. Методом ВИМС на установке IONTOF5 измерено содержание имплантированных ионов в приповерхностном слое при различных θ и D. Методом РЭМ (SUPRA 40) исследована топография облучённой поверхности.

Экспериментальные результаты также сравниваются с данными математического моделирования в программе TRIDYN. Обсуждается важность выбора правильного значения энергии поверхностной связи (Esb) для получения достоверных результатов моделирования, на основе работы [1] приводятся рассуждения относительно возможных подходов определения Esb для InP.

В эксперименте установлено, что угловая зависимость Y(θ) плохо согласуется с выводами каскадной теории распыления П. Зигмунда [3]. Также присутствует некоторое расхождение с результатами моделирования, которое, однако, можно снизить путём выбора значений энергий поверхностной связи атомов, при котором наблюдается лучшее согласование с экспериментом. Расхождение, вероятно, связано с обогащением приповерхностного слоя атомами In из-за преимущественного распыления фосфора, о чём говорится в работе [2], а также с возможным влиянием имплантированного Ga, внедрение которого изменяет матрицу энергий связи атомов образца.

**Литература**

1. Румянцев А.В., Подорожний О.В., Волков Р.Л., Боргардт Н.И. Моделирование процесса распыления карбида кремния фокусированным пучком ионов галлия // Изв. вузов. Электроника. 2022. Т. 27, № 4. с. 463–474.
2. Grossklaus K.A., Millunchick J.M. Mechanisms of nanodot formation under focused ion beam irradiation in compound semiconductors // J. Appl. Phys. 2011. 109 (1): 014319.
3. Sigmund P. Theory of sputtering. I. sputtering yield of amorphous and polycrystalline targets // Phys. Rev. 1969. Vol. 184, 2 – p. 383–416.