

Формирование нанокластеров ZnSe в диоксиде кремния методом высокодозной ионной имплантации: моделирование и эксперимент

М.А. Моховиков¹, Ф.Ф. Комаров¹, А.Ф. Комаров¹, О.В. Мильчанин¹,
И.Н. Пархоменко², Л.А. Власукова², Е. Wendler³

¹ Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь

² Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,

³ Университет им. Ф. Шиллера, Йена, Германия

E-mail: m.mohovikov@gmail.com

Для создания на базе кремниевой технологии светоизлучающих структур, работающих в видимом диапазоне, перспективным представляется формирование нанокластеров соединений A^2B^6 в матрице диоксида кремния. Соединения A^2B^6 характеризуются широкой запрещенной зоной (от 1,5 до 3,7 эВ), высокой вероятностью излучательных переходов (от 320 до 830 нм) и высокой подвижностью носителей заряда. Среди соединений A^2B^6 , в частности, селенид цинка (ZnSe) представляет интерес как перспективный люминесцентный материал оптоэлектроники для использования в видимом и ИК спектральном диапазоне, а также в оптической и лазерной CO_2 оптике.

В данной работе приводятся результаты моделирования последовательной имплантации примесей цинка и селена (Zn, Se) в матрицу диоксида кремния, а также данные экспериментального исследования структурных и оптических свойств слоев диоксида кремния, имплантированных ионами Zn и Se.

Для описания процесса последовательной высокодозной имплантации атомов цинка и селена с последующим формированием нанокластеров ZnSe в матрице диоксида кремния разработана физико-математическая модель, основанная на численном решении систем уравнений конвекции–диффузии–реакции [1]. На основе анализа полученных экспериментальных и теоретических данных определены коэффициенты радиационно-стимулированной диффузии Zn и Se, а также доля имплантированной примеси, находящаяся в связанном состоянии, т. е. в виде нанокластеров ZnSe.

Для проведения экспериментальных исследований образцы размером $2 \times 2 \text{ см}^2$ вырезались из термически оксидированных кремниевых пластин SiO_2 (600 нм)/Si и имплантировались ионами Zn (150 кэВ, $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и Se (170 кэВ, $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$). Имплантация проводилась при повышенной (550 °C) температуре. Для анализа распределения внедренной примеси по глубине образцов использовался метод резерфор-

довского обратного рассеяния (РОР). Структурно-фазовые и оптические характеристики образцов исследовались методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и комбинационного рассеяния света (КРС).

Методом ПЭМ (рис. 1, а) установлено, что в процессе ионной имплантации формируются нанокластеры размером от 2 до 10 нм. Кристаллическая структура нанокластеров подтверждается формированием концентрических колец на картинах электронной дифракции, а также наличием в спектрах КРС полосы с максимумом при $\sim 252 \text{ см}^{-1}$, которая соответствует рассеянию на продольном оптическом фоне (LO-мода) в кристаллическом ZnSe (рис. 1, а, б). Анализ ПЭМ-микрофотографий позволил рассчитать слоевую плотность, которая составляет $9,34 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$, и оценить долю внедренных атомов цинка и селена, находящихся в матрице диоксида кремния в виде кластеров. В предположении сферической формы кластеров и плотности нанофазы ZnSe такой же, как для массивного полупроводника ZnSe, показано, что примерно 60 ат. % имплантированной примеси уже содержится в кластерах сразу после «горячей» имплантации.

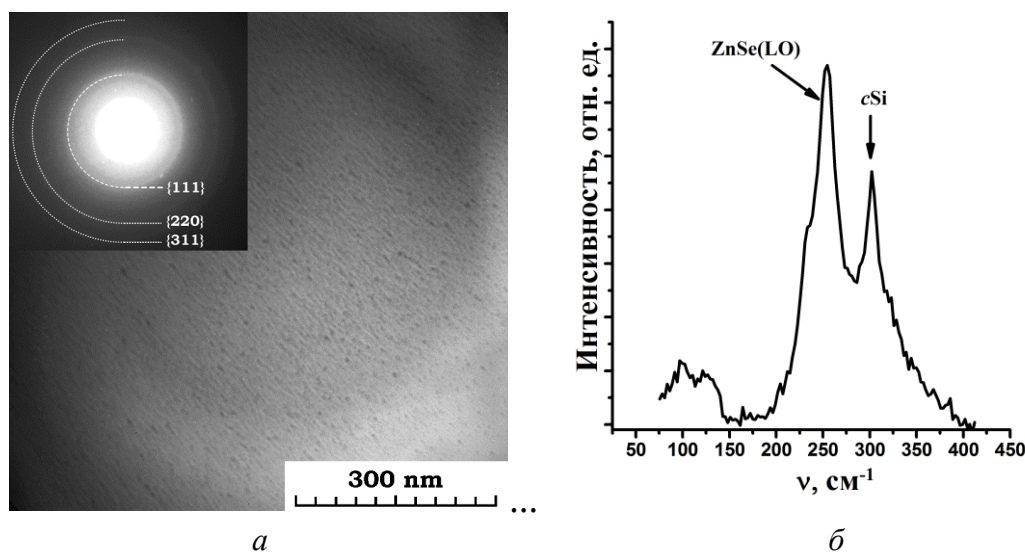


Рис. 1. ПЭМ-микрофотография в режиме планарного сечения (а) и спектр КРС (б) слоев SiO_2 , имплантированных Zn (150 кэВ , $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и Se (170 кэВ , $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$) при 550°C . На вставке представлена картина электронной дифракции

Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными.

1. Комаров А.Ф., Комаров Ф.Ф., Мильчанин О.В. и др. // ЖТФ. 2015. Т. 85, № 9. С. 77–85.