

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии»
(по отраслям применения)

Подрезовой Леси Владимировны

Получение и исследование наноструктурированных слоёв на основе оксидных полупроводников

Общая характеристика работы. В диссертационной работе были получены и исследованы наноструктурированные материалы на основе оксидных полупроводников. В результате проведённых исследований отработаны низкочастотные методы синтеза нанокристаллического полупроводникового материала гидротермальным и газофазным методами. Подобраны оптимальные параметры процессов синтеза. Показано, что использование каталитического слоя на основе углерода при газофазном синтезе и затравочного слоя ZnO при гидротермальном синтезе позволяет получать массивы упорядоченных микро- и наностержней ZnO с контролируемой морфологией. Изучены оптические и электрические свойства полученных образцов.

Актуальность исследования. Проблемы разработки низкочастотных технологий синтеза многофункциональных материалов привлекают значительное внимание исследователей. Широкие возможности управления структурой и свойствами материалов открываются при синтезе наноструктурированных материалов благодаря как размерным эффектам, проявляющимся в нанометровой области, так и большим вкладом поверхности в свойства материала. Такие наноструктурированные материалы, как оксид и сульфид цинка, сульфид кадмия, имеют высокий потенциал применения в электронных, оптических, магнитных и термоэлектрических приборах для солнечной и водородной энергетики, топливных элементов, аккумуляторов и др.

В частности, оксид цинка — это уникальный функциональный полупроводниковый материал с широкой запрещённой зоной (3.37эВ), большой энергией связи экситона (60 мэВ) при комнатной температуре, обладающий эффективной ультрафиолетовой люминесценцией. С учётом перспективности применения наноразмерных структур оксида цинка представляет значительный интерес разработка методов их контролируемого синтеза для создания структур с заданными свойствами.

Сульфид цинка вызывает повышенный интерес с точки зрения практической значимости, поскольку он является полупроводником, относится к материалам группы $A^{II}B^{VI}$, имеет большую ширину запрещённой зоны - около 3.6 эВ, что соответствует ультрафиолетовой области спектра, и является весьма важным материалом в создании различных электронных устройств, например, в качестве буферных слоёв солнечных элементов CIGS

(кадмий-индий-галлий-селен). ZnS используется в гетероструктурах типа ZnO/ZnS для уменьшения ширины запрещенной зоны и увеличения оптической абсорбции. Для получения ZnS в настоящее время интенсивно развивается гидротермальный метод синтеза. Например, этим легкодоступным и низкотемпературным методом синтезированы разнообразные структуры из ZnS с решеткой вюрцита, включающие как заполненные, так и полые сферы. Однако конечный результат гидротермального метода синтеза очень сильно зависит от большинства деталей технологического процесса, поэтому для его применения и получения воспроизводимых результатов необходим тщательный выбор вида и количественного содержания прекурсоров и отработка технологических режимов.

В последнее время весьма перспективно применение композитов «наностержни ZnO/наночастицы CuO» для фотокаталитического получения водорода из водных растворов под действием солнечного освещения. Композиты на основе наностержней ZnO с наночастицами CuO обладают значительно более высокой фотокаталитической активностью по сравнению с ZnO. Поэтому высокая каталитическая активность композитов может быть использована для создания различного типа химических и газовых сенсоров, например, для детектирования сероводорода, монооксида углерода и других веществ. В композитных материалах из CuO/ZnO наностержней эффективно уменьшается работа выхода электронов, и ток эмиссии возрастает почти в 3 раза, что делает такие материалы перспективными для полевых эмиттеров. Большой интерес привлекают структуры ядро-оболочка на основе ZnO/CuO для оптоэлектронных применений и создания гибких и недорогих солнечных элементов, для солнечных элементов на квантовых точках.

Широко исследуются в последнее время также наноструктуры на основе ZnO/Ag, которые можно получать достаточно простыми гидротермальными методами и электроосаждением, а также методом электронно-лучевого напыления. Структуры ZnO/Ag обладают повышенной способностью фотокаталитической деградации многих органических соединений, что высоко востребовано в области экологии и охраны окружающей среды, для обеззараживания вредных отходов. Композиты ZnO/Ag проявляют высокую антибактериальную активность. Фотоаноды на основе ZnO/Ag обладают повышенной фотоэлектрической чувствительностью и способностью к фотоиндуцированному расщеплению воды.

В связи с широкими возможностями практического использования оксидных полупроводников и композитных материалов на их основе разработка методов их получения и исследование свойств полученных образцов являются актуальными.

Объектом исследования являются наноструктурированные слои оксидных полупроводников и нанокомпозиты на их основе.

Предмет исследования - методы получения и исследования свойств полупроводниковых наноструктур для применения в электронике.

Цель диссертационного исследования – разработать методы синтеза наноструктурированных слоёв оксидных полупроводников и нанокompозитов на их основе, позволяющие получать материалы с заданными морфологией, электрическими и оптическими свойствами. Провести сравнение между различными техниками роста, подобрать оптимальные режимы для каждой из них. Дать анализ свойств полученных образцов в зависимости от технологических условий роста. Исследовать полученные образцы методами электронной сканирующей микроскопии, рамановского рассеяния, рентгеноструктурного анализа, атомно-силовой микроскопии, изучить спектры поглощения и фотолюминесценции, электрические характеристики.

Методологической базой исследования являются методы получения наноструктурированных материалов, такие как гидротермальный синтез, метод химического газофазного осаждения, золь-гель метод, электрохимическое осаждение, вакуумное термическое напыление и др.

Научная новизна данного исследования заключается в определении технологических условий роста для направленного синтеза полупроводниковых микро- и нано- кристаллических образцов оксидных полупроводников.

Научно-практическая значимость исследования. Полученные слои оксидных полупроводников являются весьма важным материалом в приборостроении (люминофоры, детекторы, светодиоды, нелинейные элементы и пр.), могут быть успешно применены для создания гибких и недорогих солнечных элементов, лазерных диодов. Однородные массивы наностержней оксида цинка и композиты на их основе перспективны для использования в производстве газовых сенсоров, оптоэлектронных, пьезоэлектрических наноустройств, полевых эмиттеров, а также при создании солнечных элементов на красителях и квантовых точках.

Апробация проведённых исследований. Основные итоги диссертационного исследования были опубликованы в 18 статьях, из них 3 – в международных научных журналах базы SCOPUS (impact factor: 0; 0.600) и Thomson Reuters (impact factor: 1.545), 5 статей вышли в изданиях, рекомендованных ККСОН (2 статьи в Вестнике КазНУ и 3 в Вестнике КазНТУ), 10 статей в сборниках международных научно-практических конференций. Представлены доклады на 17 международных конференциях, 8 из которых зарубежные. Имеется инновационный патент на изобретение РК 26062 от 04.11 2011, Гос. № 2011/1145.1 «Способ получения массивов наностержней оксида цинка», авторское свидетельство №74881. Соисполнитель по гранту № 2675/ГФЗ «Разработка методов получения тонких плёнок оксида цинка для солнечной энергетики».

Объём и структура диссертации. Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка использованных источников. Общий объём диссертации 115 страниц.