

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Федоровой Екатерины Алексеевны «Гидрохимический синтез пленок со структурой халькопирита  $\text{CuGaSe}_2$  и кестерита  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ », представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия

В современной солнечной энергетике весьма эффективными материалами для преобразования солнечного излучения являются халькопиритные и кестеритные структуры. Однако традиционные методы получения этих материалов требуют больших материальных и трудовых затрат. Поэтому разработка технологии надежного и высокоэффективного метода получения полупроводниковых слоев  $\text{CuGaSe}_2$  и  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  без применения сложного и дорогостоящего оборудования и высоких температур является весьма актуальной задачей, решение которой заложено в использовании автором рецензируемой работы метода гидрохимического осаждения.

Реализация поставленной в диссертации цели достигалась использованием комплексного подхода, включающего анализ ионных равновесий сложных реакционных систем, изучение процессов зарождения и эволюции морфологии поверхности, установление кристаллической структуры, элементного состава, термической стабильности, полупроводниковых и оптических свойств пленок  $\text{Cu}_{1-x}\text{Se}$ ,  $\text{SnSe}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{Ga}_2\text{Se}_3$  и твердых растворов на их основе.

Несомненным достижением работы является разработка автором процесса одностадийного формирования твердого раствора замещения  $\text{Ga}_x\text{Cu}_{1-x}\text{Se}_2$  с содержанием селенида галлия 6.9 мольных % гидрохимическим соосаждением индивидуальных селенидов металлов.

К наиболее важным научным результатам работы следует отнести предложенную и обоснованную автором оригинальную методику формирования соединения  $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$  в структуре кестерита, состоящего из распространенных элементов и обеспечивающего его более низкую стоимость по сравнению с обычно используемыми поглощающими слоями.

Полученные в диссертационной работе константы нестойкости полиядерных гидроксокомплексов и константы динамического равновесия ряда труднорастворимых соединений меди (II), олова (II), цинка и галлия могут быть использованы в качестве справочных величин.

Анализ содержания автореферата, публикаций автора свидетельствует о том, что соискателем выполнен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований, достоверность результатов которых не вызывает сомнений.

У рецензента имеются следующие замечания и вопросы по автореферату:

Непонятно сформулировано положение 1, выносимое на защиту (с. 7):

«Расчет констант нестойкости гидроксокомплексов и констант динамического равновесия малорастворимых соединений меди (II), олова (II), цинка, галлия на основе потенциометрического титрования и моделирования равновесий в реакционных системах сложного состава “соль металла – лиганд – селеносульфат натрия”. На защиту выносятся новая методика расчета или результаты расчета констант с использованием известной методики? Применение потенциометрического титрования и моделирования равновесий – давно известный подход.

Из текста автореферата не ясно, какими причинами был обусловлен выбор исследованных в работе последовательностей нанесения прекурсорных слоев селенидов метал-

лов:  $ZnSe - SnSe - Cu_{1.8}Se - SnSe$ ,  $Cu_{1.8}Se - SnSe - ZnSe - SnSe$  и  $SnSe - Cu_{1.8}Se - SnSe - ZnSe - SnSe$  (с. 19) с учетом того, что искомая структура кестерита получается только в одном случае?

Следует отметить, что отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают научной ценности работы.

Диссертационная работа «Гидрохимический синтез пленок со структурой халькопирита  $CuGaSe_2$  и кестерита  $Cu_2ZnSnSe_4$ », выполненная на высоком экспериментальном уровне, вносит существенный вклад в физическую химию получения полупроводниковых соединений, востребованных современной фотовольтаикой, полностью соответствуют паспорту заявленной специальности 02.00.04 – Физическая химия (по отраслям исследований 1, 2 и 7) и удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Федорова Екатерина Алексеевна, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Ведущий научный сотрудник  
объединенного физико-химического  
центра ИХР РАН и ИГХТУ  
ФГБУН Институт химии растворов  
им. Г. А. Крестова РАН  
доктор химических наук по  
специальности 02.00.04 – физическая  
химия, старший научный сотрудник  
153045, Россия, Ивановская обл.,  
г. Иваново, ул. Академическая, 1.  
E-mail: bat21dv@yandex.ru.

  
Д. В. Батов  
Батов Дмитрий Вячеславович

Подпись Батова Д. В. заверяю  
Ученый секретарь ИХР РАН, к.х.н.

К. В. Иванов

«06» 12 2016 г.

