

## ОТЗЫВ

официального оппонента Квашенкиной Ольги Евгеньевны,  
на диссертационную работу Бурдюха Сергея Викторовича  
"МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ОКСИДОВ ВАНАДИЯ МЕТОДОМ  
ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ",  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико – математических наук  
по специальности 01.04.04 – Физическая электроника

### Актуальность темы диссертации

Анализ свойств новых низкоразмерных оксидных тонкопленочных материалов со структурой нанотрубок, наносвитков, наностержней и нанолент - интенсивно развивающееся современное направление исследований, которое напрямую связано с новыми перспективами применения таких материалов в микроэлектронике, катализе и других областях. Особенно это касается оксидов переходных металлов, каковыми являются изучаемые в данной работе диоксид ванадия и пентаоксид ванадия. Актуальность подобных исследований в первую очередь связана с поиском корреляций «структура-механизм-свойства» и выявлением важнейших областей возможного практического использования получаемых наноструктур.

Оксиды переходных металлов демонстрируют ряд интересных физических явлений, таких, как высокотемпературная сверхпроводимость, фазовый переход изолятор-металл, электрохромный эффект и т. д. Среди указанных оксидов одним из перспективных материалов, применимых в качестве рабочего элемента микроэлектронных, электрохимических и оптоэлектронных устройств, является диоксид ванадия. Поликристаллические пленки диоксида ванадия имеют большой потенциал для применения в электрохромных дисплеях, температурных и газовых сенсорах, а также в других оптических приложениях. Кроме того,  $\text{VO}_2$  используется в тонкопленочных электрических микробатареях. Наблюдаемое в этом материале резкое обратимое изменение оптических и электрических свойств

при температуре фазового перехода металл-полупроводник (ФПМП)  $T_{th}=67^{\circ}C$  перспективно в плане использования диоксида ванадия в оптических и электрических переключающих устройствах.

Не менее значимым и потенциально широко применимым является пентаоксид ванадия. Данное соединение проявляет электрохромные свойства, что позволяет использовать его для оптоэлектронных переключателей, сенсоров, дисплеев, индикаторов.

В связи с изложенным тема диссертационной работы С.В. Бурдюха представляется актуальной, имеющей большое значение для науки и практики.

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Новизна диссертационной работы заключается в создании единой модели подробно описывающей изменения, происходящие в диоксиде ванадия и гидратированном пентаоксиде ванадия при легировании этих материалов водородом и вольфрамом методом плазменно-иммерсионной ионной имплантации (ПИИИ). Велика практическая составляющая новизны работы: создан единый и эффективный метод контроля фазовых преобразований в двуокиси ванадия и гидратированном пентаоксиде ванадия.

К числу наиболее существенных результатов диссертации следует отнести:

1. Разработку модели увеличения скорости электрохромного окрашивания в гидратированном пентаоксиде ванадия, на основании произведённой оценки диффузии, фарадеевского контактного сопротивления, сопротивления ионного зарядопереноса.

2. Создание установки и комплекса эффективных методик, позволяющих контролировать переходные процессы в диоксиде ванадия и гидратированном пентаоксиде ванадия путем легирования данных материалов водородом и вольфрамом плазменно-иммерсионной ионной имплантацией.

3. Получение комплекса новых данных для теоретического обоснования физики переходных процессов, происходящих в исследуемых материалах.

## **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов математического анализа, линейной алгебры, математического моделирования и вычислительных алгоритмов. Достоверность полученных результатов подтверждается также приведенными результатами экспериментов, в которых было задействовано современное оборудование, завершёнными работами в рамках грантов и гос. заданий. Апробацией основных результатов на конференциях и семинарах, а также в опубликованных работах.

## **Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

Научная значимость результатов заключается в развитии теории фазовых переходов в окиснованадиевых соединениях: фазовый переход металл-полупроводник в диоксиде ванадия, электрохромный эффект в гидратированном пентаксоксиде ванадия.

Практическая значимость основных положений диссертации подтверждается использованием полученных результатов в разработке и реализации методов легирования окиснованадиевых соединений, являющихся объектами исследования данной работы, путём плазменно-иммерсионной ионной имплантации. Результаты исследований могут лечь в основу создания нового класса безэлектролитных электрохромных индикаторов на основе  $V_2O_5$ , переключателей с использованием сэндвич-структур металл- $VO_2$ -металл, в которых существует возможность контроля и регулирования пороговых параметров, через предложенные в данной работе методы легирования таких систем. Разработанный в диссертационной работе Бурдюха С.В. метод ПИИИ с успехом может применяться для направленного изменения электрофизических свойств пленок ванадия.

## **Замечания по диссертационной работе в целом**

Как всякий серьезный научный труд, работа С.В.Бурдюха не свободна от некоторых недостатков.

1. Так в диссертации не уделяется внимания вопросам кинетики протекания ФПМП в  $\text{VO}_2$ . Из текста невозможно установить, как могло бы повлиять легирование вольфрамом или водородом на время релаксации электронной подсистемы материала при его импульсном фотовозбуждении. В частности, повлияет ли сужение энергетической щели, вызванное легированием, на время релаксации электронной подсистемы. Этот вопрос представляет интерес, поскольку кинетические эксперименты, подробно описанные в мировой литературе, также позволяют отдельно следить за поведением электронной и решеточной подсистем.

2 В диссертации проведены исследования спектров комбинационного рассеяния изучаемых пленок и получены интересные результаты. Однако нет практически никакого упоминания о спектрах ИК-поглощения, которые совместно со спектрами комбинационного рассеяния обычно хорошо дополняют друг друга. Было бы интересно получить хотя бы минимальную информацию по этому вопросу.

3. Недостаточно подробно описана модель фазового перехода металл-полупроводник в двуокиси ванадия, на основании которой в главе 3 сделаны выводы о влиянии гидрирования и легирования вольфрамом на свойства данного материала. В частности, несмотря на множество литературных данных, не описана структура корреляционного электрон-электронного и электрон-структурного взаимодействий, которая служит основой для дальнейшего моделирования процессов влияния легирования на фазовые превращения в  $\text{VO}_2$ .

3 Имеется также ряд небольших замечаний по оформлению текста и рисунков: некоторые фразы излишне тяжеловесны, на ряде рисунков нечеткие обозначения.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

В целом, несмотря на отмеченные недостатки и замечания, представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом

