

## ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертационную работу  
Чубенко Евгения Борисовича «Формирование и свойства нанокompозитных  
материалов на основе оксида цинка», представленную на соискание  
учёной степени доктора физико-математических наук  
по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы  
(материалы для электроники и фотоники)

Диссертационная работа Чубенко Е. Б. выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках проведения в 2011 – 2022 гг. научно-исследовательских работ по заданиям ГПНИ Республики Беларусь, грантов Министерства образования Республики Беларусь и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. Она соответствует одному из утвержденных Указом Президента Республики Беларусь № 156 от 7 мая 2020 г. приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021 – 2025 гг., а именно п. 4 Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: микро-, опто- и СВЧ-электроника, фотоника, микросенсорика; композиционные и многофункциональные материалы; наноматериалы и нанотехнологии, нанодиагностика.

Основу диссертационной работы составляют исследования, направленные на развитие принципов формирования методами электрохимического, химического и золь-гель осаждения нанокompозитных материалов на основе оксида цинка, включающих другие металлы, их оксиды и полупроводники, и их применение в фотокаталитических системах, фотовольтаике и оптоэлектронике. В первую очередь внимание уделено созданию таких композитов в одностадийных процессах, то есть, без последующих дополнительных операций, что обеспечило технологическую простоту предложенных способов и практическую направленность проведенных исследований. В работе разработан способ и изучены закономерности формирования тонких пленок из легированного никелем и кобальтом оксида цинка химическим гидротермальным методом, обладающих высокой электропроводностью и возможностью управления спектральными характеристиками люминесценции путем изменения концентрации примеси. Исследованы механизмы формирования покрытий из композитных материалов на основе оксида цинка и оксидов переходных металлов – никеля, кобальта и меди – методом электрохимического осаждения, что позволило увеличить удельную площадь поверхности таких структур и добиться их большей фотоэлектрохимической активности. Предложен механизм транспорта носителей заряда в слоях

пористого кремния в процессе электрохимического осаждения, дающий возможность осуществить заполнение пористой кремниевой структуры оксидом цинка или другими материалами и увеличить, таким образом, площадь контакта между двумя полупроводниками. Разработаны новые способы одностадийного получения двойных и тройных гетеросистем, включающих оксид цинка и углерод или оксид цинка, сульфид цинка и графитоподобный нитрид углерода, с возможностью управления фотокаталитическими и люминесцентными свойствами, демонстрирующих интенсивную фотолюминесценцию в области ультрафиолетового излучения при комнатной температуре и обладающих выраженной фотокаталитической активностью и цитотоксичностью по отношению к микроорганизмам. В работе продемонстрирована возможность применения широкого круга полученных композитных материалов для создания люминесцентных пленок с заданным спектром свечения, фотокаталитических и антибактериальных покрытий и фоточувствительных структур.

Полученные в работе результаты формируют научные и технологические основы разработки, создания и применения электронных приборов и функциональных покрытий из оксида цинка – широкозонного полупроводника, обладающего уникальным сочетанием физико-химических свойств. Модификация оксида цинка путем легирования или создания нанокompозитных материалов на его основе, позволяет контролируемо изменять характеристики этого материала и расширяет области его применения. Проведенные в диссертационной работе исследования развивают возможность использования методов электрохимического и химического осаждения для получения нанокompозитных материалов, включающих оксид цинка, и соответствуют принципу создания низкотемпературного технологического маршрута изготовления полупроводниковых электронных приборов на основе оксида цинка, отвечающего требованиям малой себестоимости, экологичности и экономии энергоресурсов. Подобного рода исследования представлены в научно-технической литературе, но не имеют системного характера, что сдерживает практическое применение электрохимических и химических процессов для синтеза нанокompозитов, включающих оксид цинка, в электронике, фотокатализе и фотовольтаике.

По теме диссертации Чубенко Е. Б. подготовил и опубликовал более 120 научных работ, из которых 2 главы в книгах, 24 статьи в реферируемых научных журналах и 6 статей в сборниках материалов конференций включены как авторские в библиографический список диссертации, и отвечают пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляя объем 18,2 авторских листа. Всего в библиографической базе Google Scholar по состоянию на 04.10.2023 проиндексировано 79 его статей, на которые сделано 311 ссылок, индекс

Хирша 9, что свидетельствует о признании опубликованных работ. Результаты диссертации внедрены в учебный процесс и используются на кафедре микро- и наноэлектроники БГУИР, что подтверждается соответствующими актами.

В настоящее время Чубенко Е. Б. является научным руководителем пяти научно-исследовательских работ в рамках заданий ГПНИ и ГКНТ, развивающих заложенные в диссертационной работе исследования. Фактически им сформировано новое научное направление, связанное с электрохимическим и химическим синтезом широкозонных полупроводниковых материалов. Его научная деятельность тесно связана с педагогической и методической работой. В диссертационной работе им продемонстрирована способность решать актуальные научные и прикладные задачи, показаны глубокие знания физических и технологических процессов в области микро- и наноэлектроники. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно и на высоком научном уровне. Результаты работы достоверны, обладают научной новизной, выводы достаточно обоснованы.

Считаю, что диссертационная работа Чубенко Е. Б. отвечает требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.16.08 – «Нанотехнологии и наноматериалы» (материалы для электроники и фотоники) за развитие актуального научного направления в области нанотехнологий и наноматериалов, которое заключается в разработке физико-технологических принципов получения и использования тонкопленочных и объемных нанокompозитных материалов, включающих нелегированный и легированный металлами оксид цинка, а также его сочетания с другими полупроводниковыми соединениями, формируемых химическим гидротермальным и электрохимическим осаждением, золь-гель методом, термостимулированным разложением/синтезом, для изготовления элементов функциональной электроники и фотокаталитически активных покрытий.

Профессор кафедры  
микро- и наноэлектроники БГУИР  
доктор физико-математических наук  
профессор

05.10.2023



В. Е. Борисенко

