

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу
Гревцова Никиты Леонидовича «Пленки твердых растворов кремний-германий на основе нанопористого кремния для термоэлектрических преобразователей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (в электронике)

Диссертационная работа выполнена Гревцовым Н.Л. при обучении в аспирантуре на кафедре микро- и нанoeлектроники БГУИР, а также работе в научно-исследовательской лаборатории «Материалы и структуры нанoeлектроники» в 2020–2023 гг. Приведенные результаты получены в рамках выполнения исследований по гранту «Кремниевые нанонити: формирование методом металл-стимулированного химического травления, структура и оптические свойства» Министерства образования Республики Беларусь для докторантов, аспирантов, соискателей и студентов, а также гранту «Формирование сплавов кремний-германий термообработкой композитов наноструктурированного кремния и германия для термоэлектрических преобразователей» Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (конкурс «БРФФИ–Наука М»). Работа соответствует п. 2 «Инновационные технологии в промышленности: фотоника, микроэлектроника, сенсорики и СВЧ-технологии» перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2026–2030 гг., утвержденного Указом Президента Республики Беларусь № 134 от 01.04.2025 г.

В основе диссертационной работы лежат исследования, направленные на разработку нового подхода к синтезу пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, заключающегося в электрохимическом заполнении матрицы пористого кремния наночастицами германия с последующей высокотемпературной обработкой. Данная методика является оригинальной и не представлена в научно-технической литературе, а по сравнению с известными методами синтеза пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ отличается простотой реализации и использованием недорогого оборудования.

В составе работы охарактеризованы доступные методы формирования матриц нанопористого кремния (пористого кремния, размеры структурных элементов которого лежат в наноразмерном диапазоне), а также произведено изучение закономерностей электрохимического осаждения в данные матрицы германия. Установлено, что электрохимическое осаждение германия из растворов его оксида не позволяет обеспечить заполнение нанопористого кремния германием, а для достижения этой цели необходимо использовать методику роста германия по механизму жидкость-жидкость-твердое тело на предварительно осажденных частицах индия. Для успешной реализации этой методики произведено комплексное исследование процесса электрохимического осаждения индия в нанопористый кремний из водных растворов сульфата индия. Это позволило разработать методику локализации частиц индия внутри пор, что, в свою очередь, обеспечило успешное заполнение каналов пор германием.

Путем термической обработки заполненных германием матриц нанопористого кремния различной пористости получены пленки $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ электронного и дырочного типов проводимости с контролируемым содержанием германия, размещенные на поверхности монокристаллических кремниевых подложек. Оценены основные электрофизические параметры полученных пленок, свидетельствующие о их выраженных термоэлектрических свойствах. Изготовлены и исследованы экспериментальные образцы лабораторного прототипа термоэлектрического преобразователя, работающего на основе сформированных пленок. Полученные Гревцовым Н.Л. результаты формируют научные и технологические основы разработки, создания и применения тонкопленочных термоэлектрических преобразователей на базе разработанной методики изготовления пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$.

По теме диссертации Гревцовым Н.Л. подготовлена и опубликована 21 научная работа, из которых 11 статей в рецензируемых научных журналах, а также 5 статей и 5 тезисов в сборниках материалов конференций. Результаты диссертации внедрены в учебный процесс на кафедре микро- и нанoeлектроники БГУИР, а также апробированы в Центре материаловедения НАН Беларуси и Национальном исследовательском институте «Московский институт электронной техники», что подтверждается соответствующими документами. В ходе выполнения диссертационной работы Гревцовым Н.Л. продемонстрирована способность решать научные и прикладные задачи, показаны глубокие знания физико-химических процессов в области технологии микро- и нанoeлектроники. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, самостоятельно выполненной автором на высоком научном уровне. Результаты работы достоверны, обладают научной новизной, а выводы в достаточной мере обоснованы.

Считаю, что диссертационная работа Гревцова Н.Л. отвечает требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (в электронике) за получение новых научных результатов (продемонстрированную возможность локализации наночастиц индия в донной части пор нанопористого кремния, выявленные закономерности электрохимического осаждения германия в нанопористый кремний и разработанные основы технологического процесса формирования пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ путем термообработки нанопористого кремния, поры которого заполнены германием), а также развитие актуального научного направления в области нанотехнологий и наноматериалов, заключающееся в разработке нового способа формирования пленок $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ с улучшенными характеристиками для термоэлектрических преобразователей тепловой энергии в электрическую.

Заведующий НИЛ 4.3 НИЧ БГУИР
кандидат технических наук, доцент

В.П. Бондаренко

