

ОТЗЫВ
руководителя В.В. Ховайло
на Усенко Андрея Александровича, подготовившего законченную
диссертацию «Исследование наноструктурных термоэлектрических
материалов на основе твёрдых растворов кремний германия *n*- и *p*-типа»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук
по специальности 01.04.10 «Физика полупроводников»

Диссертационная работа А.А. Усенко посвящена комплексному экспериментальному исследованию структурных и транспортных свойств высокотемпературных термоэлектрических материалов Si-Ge *n*- и *p*-типа и моделированию процессов, происходящих при консолидации образцов методом искрового плазменного спекания.

Основная цель работы заключалась в получении объемных наноструктурированных образцов Si-Ge и установлению факторов, приводящих к высоким значениям термоэлектрической добротности ZT в этих материалах.

В ходе выполнения работы А.А. Усенко получил ряд приоритетных результатов, среди которых можно отметить следующие:

определены оптимальные физические параметры консолидации порошков SiGe в объёмный материал методом искрового плазменного спекания, позволяющие получать материал с высокой объёмной плотностью и сохранением наноразмерных элементов структуры. Разработана физическая модель, позволяющая проводить моделирование распределения температуры и плотности тока в образце и оснастке в процесса искрового плазменного спекания;

впервые установлено, что образование твёрдого раствора в системе $\text{Si}_{0,8}\text{Ge}_{0,2}$ путём механоактивации в планетарных шаровых мельницах возможно за время, не превышающее 2-х часов. За счёт оптимизации параметров синтеза удалось существенно понизить рекристаллизационный рост частиц в ходе спекания порошка, что привело к значительному понижению теплопроводности полученных наноструктурированных материалов. Максимальная термоэлектрическая добротность ZT синтезированных материалов составила $\sim 1,1$ при температуре 800°C , что на 25% выше, чем в кристаллических аналогах сплавов SiGe *n*-типа;

впервые экспериментально доказано, что наблюдаемые в механоактивированных образцах Si-Ge нановключения SiO_2 являются кристаллическими, а не аморфными, как предполагалось ранее;

для наноструктурных образцов SiGe *p*-типа удалось повысить значение термоэлектрической добротности материала до $\sim 0,72$, что на 30% по сравнению с кристаллическим материалом того же состава используемым в производстве.

Важным результатом практической значимости является оптимизация параметров механоактивации в планетарной мельнице, что позволило снизить время механической обработки, сократив таким образом трудовые затраты на производство материала, а также снизив количество примесей, попадающих в материал с размольных тел и барабанов.

А.А. Усенко принимал активное участие в постановке задач и выборе объектов исследования. Все экспериментальные результаты получены автором лично. В ходе выполнения диссертационной работы А.А. Усенко являлся ключевым исполнителем в проектах «Метод твердофазного механического сплавления для получения наноструктурированных термоэлектриков с повышенной эффективностью преобразования тепла в энергию» (государственный контракт №16.513.11.3040 от 12.04.2011г.) и «Создание наноструктур на основе силицида германия и силицидов переходных металлов для термоэлектрических генераторов» (грант РФФИ №15-38-50811), а также руководителем проекта по программе УМНИК «Создание высокоэффективного материала для прямого преобразования тепловой энергии». А.А. Усенко принимал непосредственное участие при обработке и анализе экспериментальных данных и в написании статей. Две статьи А.А. Усенко опубликованы в высокорейтинговом журнале Scripta Materialia (импакт фактор 3,305). А.А. Усенко выступал с устными докладами по теме работы на конференции Европейского материаловедческого сообщества (E-MRS), 12-й, 13-й и 14й Европейской термоэлектрической конференции (ECT-2014, -2015, -2016) и 34-й Международной термоэлектрической конференции (ICT-2015).

По материалам диссертации опубликовано 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК, и зарегистрировано одно ноу-хау. Опубликовано 8 тезисов в сборниках материалов и докладов на всероссийских и международных конференциях.

А.А. Усенко подготовил диссертацию, полностью удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников».

Д.ф.-м.н., проф.

кафедры ФНСиВТМ НИТУ «МИСиС»



В.В. Ховайло

