

Отзыв  
на диссертацию Батуркина Сергея Александровича  
«Исследование токовых характеристик халькогенидных  
стеклообразных полупроводников состава GST-225, легированных  
азотом и бором»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.07. – «физика  
конденсированного состояния»

Батуркина С.А., представил на рассмотрение диссертационную работу, состоящую из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации составляет 101 страницу.

Введение и первая глава позволяют сделать вывод о достаточно широком изучении Батуркиным С.А. проблематики использования халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) в электронике. Соискателем подробно рассмотрены эффекты сохранения фазового состояния, которые используются для создания энергонезависимых элементов памяти. Так же рассмотрен вопрос немаловажный вопрос надежности энергонезависимых элементов памяти.

Вторая глава, представленная в диссертации, посвящена исследованию принципов функционирования ХСП легированных азотом и бором. Рассмотрены вопросы моделирования, использования численных методов. Важным для выполнения задач диссертационного исследования является рассмотрение влияния примесей на параметры решеток ХСП. Рассмотрен вопрос изменения параметров решетки в зависимости от примесей для аморфных и кристаллических халькогенидных стеклообразных полупроводников. Выявлены характеристики геометрии связей и их химические свойства. Рассмотрение электронной структуры легированного аморфного полупроводника состава  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  позволяет проанализировать общую природу связей, а так же выявить характер диэлектрической проницаемости. Механизм кристаллизации ХСП состава  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  представлен в достаточной степени и позволяет оценить проводимость полупроводника в зависимости от вида включения.

Интерес представляет и описание механизмов переноса носителей в пленках и структурах, оценка электропроводности дана с учетом концентрации носителей в различных состояниях. Кроме того получены выражения для вычисления токов, ограниченных пространственным зарядом.

Третья глава содержит описание математической модели физических процессов в неупорядоченных полупроводниках структуры  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , а так же моделей массива ячеек энергонезависимой фазовой памяти (ЯЭФП). Автором проведено вычисление вероятности термостимулированной туннельной ионизации U-минус центров, при этом использована модель Хуанга-Рис. Выведены аналитические выражения для оценки проводимости тонкой пленки ХСП.

Методы анализа массива ЯЭФП позволяют оценить его поведение, основываясь на приближении в рамках неоднородной диссипативной среды. Была проведена оценка валидности используемых методов, посредством использования параметрической идентификации и модернизированного метода градиентного спуска.

Так же были исследованы опытные образцы ЭЯФП, полученные в ходе выполнения работы.

Четвертая глава дает представление о проведении экспериментальных исследований образцов нелегированных и легированных неупорядоченных полупроводников состава  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ . Был представлен макет, разработанный для исследования ХСП, были представлены методы получения и результаты синтеза легированных и нелегированных ХСП состава  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ .

Исходя из представленных Батуркиным С.А. результатов можно сделать вывод о целесообразности использования ХСП, легированных азотом, ввиду того, что ХСП легированные бором выдержали гораздо меньшее число циклов перезаписи. Так же соискателем была разработана модель ячейки энергонезависимой фазовой памяти. Конструктив схож с аналогами, предложенными различными группами исследователей, но имеет меньшие габариты.

Таким образом можно заключить, что в целом работа представляет научный интерес с точки зрения создания новых принципов построения структур реализующих принцип энергонезависимости носителей памяти.

Использование ХСП известного состава позволяет оценить работу как практически значимую, ввиду наличия как таковой технологии получения указанных структур.

Так же в качестве достоинства работы стоит отметить рассмотрение возможного поведения массива ЯЭФП в условиях работы элементов ФП.

Среди недостатков можно выделить как огрехи в построении ряда глав и изложении материала, так и некоторые недостатки, содержательного плана.

Так, например, до конца не понятно, каким образом на содержательную часть диссертации влияет исследование влияния допирования кислородом на характеристики пленок.

Кроме того остается спорным вопрос рассмотрения генерации и переноса носителей, обусловленных термоэмиссией, потому что как таковой этот механизм неприменим в условиях фазовой стабильности пленки.

Приведенные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации.

Совокупность полученных новых результатов, научная и практическая ценность работы позволяют положительно рассмотреть вопрос о соответствии диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Считаю, что автор диссертационного исследования, Батуркин Сергей

Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Кужир Полина Павловна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник.

220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета (НИИ ЯП БГУ).

Тел.: +(375 17) 226 42 31,

e-mail: [polina.kuzhir@gmail.com](mailto:polina.kuzhir@gmail.com)

К. ф.-м.н., в.н.с.

«2» 12 2015 г.



П.П. Кужир