

## Отзыв

на автореферат диссертации **Фошина Вадима Анатольевича**

«Электрические и магниторезистивные явления в тонкопленочных гетерогенных системах Co/CoO, (CoFeB-SiO<sub>2</sub>)/ZnO, ZnO/C представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Диссертация Фошина В.А. посвящена весьма актуальной проблеме - выявлению основных закономерностей, описывающих взаимосвязь между морфологией (толщина и число слоев, размеры областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей) тонкопленочных многослойных гетероструктур типа Co/CoO, (CoFeB-SiO<sub>2</sub>)/ZnO и ZnO/C, полученных методом ионно-лучевого распыления составных мишеней, и их электрическими, термоэлектрическими, магнитными и магнито-резистивными свойствами. Использование комплексного подхода к выбору компонентов в изучаемых композициях (широкозонного оксидного полупроводника (ZnO), металлического магнитного сплава (Co<sub>40</sub>Fe<sub>40</sub>B<sub>20</sub>) и диэлектриков (SiO<sub>2</sub>, CoO)), использование единой методики получения образцов и методов их исследования позволило провести корректный сравнительный анализ влияния толщины слоев на механизмы электропереноса и формирование магниторезистивного эффекта в исследуемых гетероструктурах. Важный практический результат проведенного исследования состоит в разработке методики повышения магниторезистивных свойств наноконпозиций ферромагнетик - диэлектрик типа Co<sub>40</sub>Fe<sub>40</sub>B<sub>20</sub>-SiO<sub>2</sub> за счет введения в них полупроводниковой прослойки из ZnO.

К наиболее важным результатам, полученных автором, относятся следующие:

1. На основании анализа концентрационных зависимостей удельного электрического сопротивления и термоэдс установлено, что полученные гетероструктуры являются перколяционными, в которых реализуются разные виды прыжковых механизмов электропереноса. В наноконпозициях Co<sub>n</sub>(CoO)<sub>100-n</sub> до порога перколяции доминирующим механизмом переноса заряда является механизм прыжков по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми с переменной длиной прыжка (VRH) в области температур 80 - 140 К, сменяемый на прыжки по ближайшим соседям при температурах 140 - 280 К. Для наноконпозиций (Co<sub>40</sub>Fe<sub>40</sub>B<sub>20</sub>)<sub>34</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>66</sub> полученных распылением мишени на вращающуюся подложку, температурная зависимость удельного электрического сопротивления в диапазоне температур 80 - 280 К подчиняется закону VRH Шкловского-Эфроса, а для многослойных гетероструктур [(Co<sub>40</sub>Fe<sub>40</sub>B<sub>20</sub>)<sub>34</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>66</sub>]/[ZnO]<sub>50</sub> закону Мотта.

2. Показано, что при синтезе композиций  $\text{Co}_n(\text{CoO})_{100-n}$  введение в вакуумную камеру кислорода смещает положение порога перколяции в сторону меньших концентраций Co, что связывается с особенностями морфологии слоев у наноконкомпозитов, в частности со снижением размеров металлических наночастиц кобальта, располагаемых на границах крупных зерен CoO.

3. Магнетосопротивление в поле с индукцией 0,9 Тл при 300 К и 77 К у многослойных гетероструктур  $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}]/[\text{ZnO}]_{50}$  (где 50 - число бислоев в пленке). достигает 4 и 12 %, соответственно, что в 2 раза превышает максимальное значение, полученное для референтного наноконкомпозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}$ .

4. Магнетосопротивление многослойных гетероструктур (Co/CoO)<sub>60</sub> до порога перколяции определяется механизмом спин-зависимого туннелирования между наночастицами металлического Co, а за порогом протекания конкурирующими вкладами анизотропного магнетосопротивления перколяционной сетки из ферромагнитного Co и лоренцева магнеторезистивного эффекта.

Автореферат написан простым и четким языком, не содержит избыточных сведений, достоверность приведенных в автореферате результатов не вызывает сомнений.

Считаю, что автореферат диссертации показывает, что данная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор - **Фошин Вадим Анатольевич** - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния».

Заместитель директора НИУ «Институт ядерных проблем»  
Белорусского государственного университета  
Доктор физико-математических наук  
(01.04.07 — физика конденсированного состояния)  
профессор

Научно-исследовательское учреждение  
«Институт ядерных проблем»  
Белорусского государственного университета  
Республика Беларусь  
220006, г. Минск, ул. Бобруйская, 11  
тел. 375 17 3539844  
e-mail: [inp-diretor@inp.bsu.by](mailto:inp-diretor@inp.bsu.by)

06.10.2025 г.



Федотова Юлия Александровна

