

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Силкина Игоря Вячеславовича

**«Электронная структура многокомпонентных
тетрадимитоподобных топологических изоляторов»**

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности

01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Силкина И.В. посвящена актуальной задаче современной физики конденсированного состояния – поиску новых трехмерных и двумерных топологических изоляторов, представляющих собой новый класс материалов, и изучению их электронных свойств. Эти материалы в объеме являются обычными изоляторами. Однако, сильное спин-орбитальное взаимодействие порождает на поверхности такого материала проводящие, не вырожденные по спину дираковские состояния. Причем, эти состояния являются топологически защищенными от обратного рассеяния на дефектах (примесях) и локальных искажениях кристаллической решетки. Столь удивительные характеристики топологических изоляторов делают их крайне привлекательными материалами для практических приложений, таких как квантовый спиновый транспорт или спинтронные приборы.

На сегодняшний день теоретически предсказано существование нескольких десятков трехмерных топологических изоляторов, часть из которых уже синтезированы на практике. Однако подавляющее большинство из них обладают рядом недостатков. Это малая величина запрещенной

энергетической щели, нелинейная дисперсия конуса Дирака, а также низкая спиновая поляризация носителей заряда. Поэтому, поиск новых трехмерных топологических изоляторов безусловно является очень актуальной задачей. Самостоятельный интерес представляет изучение топологических нетривиальных свойств в двумерных пленочных системах, как функции толщины пленок. Это может привести к открытию новых аспектов в изучения топологических изоляторов и позволит лучше понять свойства их электронной зонной структуры.

В диссертационной работе сформулированы цели работы и задачи исследований: поиск, расчет электронной структуры, а также анализ топологических свойств новых трехмерных и двумерных топологических изоляторов с использованием современного первопринципного теоретического подхода – полнопотенциального метода лианеризованных присоединенных плоских волн.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Научные положения и выводы, сформулированные в результате исследований, являются достаточно обоснованными. Это обеспечивается четкой постановкой задач и комплексным подходом к их решению с применением современных теоретических методов. При обсуждении и сравнении полученных результатов диссертант использовал труды авторитетных российских и зарубежных ученых (библиография по теме диссертации включает 128 наименований).

Оценка научной новизны и достоверности результатов

Все заявленные пункты научной новизны настоящей работы, являются обоснованными. Научная новизна работы заключается в следующем.

Во-первых, соискателем были проведены расчеты и анализ электронной структуры ряда тетрадимитоподобных материалов. Все изученные соединения, а именно $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$, $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$, $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$,

$\text{Sn}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, $\text{Sn}_2\text{Bi}_2\text{Se}_5$, $\text{Ge}_2\text{Bi}_2\text{Te}_5$, $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$, $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$, $\text{PbBi}_2\text{Te}_2\text{S}_2$, $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}_3$ и $\text{PbBi}_4\text{Te}_4\text{S}_3$, оказались трехмерными топологическими изоляторами. В соединениях $\text{PbBi}_2\text{Te}_2\text{S}_2$ и $\text{PbBi}_4\text{Te}_4\text{S}_3$ обнаружены большие фундаментальные запрещенные энергетические щели (307 мэВ и 328 мэВ, соответственно).

Во-вторых, установлено, что ряд пленок указанных выше соединений являются двумерными топологическими изоляторами. Исследовано влияние толщины пленок на топологические свойства этих материалов.

В-третьих, диссертант теоретически предсказал в соединении $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}_3$ существование нового экзотического состояния с линейной дисперсией в области незаполненных электронных состояний энергетического спектра.

О полноте и достоверности результатов проведенного исследования свидетельствуют 9 публикаций в печатных изданиях, в том числе 4 в журналах, входящих в перечень ВАК и в библиографическую базу Web of Science. Основные результаты диссертации были доложены на 5 всероссийских и международных научных конференциях.

Практическая значимость работы

Полученные теоретические результаты могут служить надежной основой для экспериментальных исследований по синтезу предсказанных трехмерных и двумерных топологических изоляторов. Выявленные особенности и закономерности могут оказаться полезными при поиске и исследовании электронной структуры, как новых, так и уже известных топологических изоляторов.

Замечания

К работе имеются следующие замечания.

1. Для установления нетривиальных топологических свойств пленок был использован математический метод расчета \mathbb{Z}_2 топологического инварианта. Указанный подход позволяет сделать вывод о существовании

или об отсутствии на краях пленки электронных состояний с нетривиальными топологическими свойствами, однако не дает никакой информации о дисперсии такого состояния, а также о положении точки Дирака в запрещенной энергетической щели. К сожалению, в настоящей работе анализу этого вопроса не уделено должное внимание.

2. В главе 4 проведен расчет электронной структуры соединений с композиционным беспорядком. Топологические свойства рассмотренных соединений в модели ячейки 2×2 устанавливались с помощью того же \mathbb{Z}_2 топологического инварианта. В работе не продемонстрировано, как выглядит топологическое состояние указанных соединений. Возможно, это связано с трудностями численного расчета, поскольку элементарная ячейка данных соединений (в модели 2×2) содержит 36 атомов. В диссертации этот вопрос остается открытым.

3. Известно, что одной из характеристик дираковского конуса в подобных соединениях является спиновая поляризация носителей заряда. Это должно напрямую влиять на возможность спинового транспорта в топологических изоляторах и является безусловно важным свойством изученных соединений, особенно для практических приложений. Однако, в диссертации подобные расчеты не были проведены.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости исследований, а также общей высокой положительной оценке работы.

Соответствие диссертации требованиям, предъявляемым «Положением о порядке присуждения ученой степени»

Представленная диссертационная работа отвечает всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. Автореферат и публикации автора соответствуют содержанию диссертации и достаточно полно ее представляют. Считаю, что автор Силкин Игорь Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

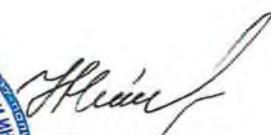
Заведующий лабораторией технологии двумерной микроэлектроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук (диссертация защищена по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния), профессор



Зотов Андрей Вадимович

690041 г. Владивосток, ул. Радио 5, director@iacp.dvo.ru,
<http://www.iacp.dvo.ru/>
тел. +7(423)231-04-39

Подпись А.В. Зотова удостоверяю:

И.О. Ученого секретаря ФГБУН ИАПУ ДВО РАН  И.О. Никифирова

13.02.2015 г.

