

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Яшиной Лады Валерьевны на диссертацию Естюнина Дмитрия Алексеевича на тему «Электронная, спиновая структура и магнитные свойства собственных магнитных и магнитно-легированных топологических изоляторов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Исследование магнитных топологических диэлектриков представляет как фундаментальный, так и, в перспективе, большой практический интерес. Это новый класс объектов, проявляющих уникальные свойства и позволяющих наблюдать новые явления в физике конденсированного состояния, прежде всего это квантовый аномальный эффект Холла. Для его реализации к материалу предъявляется ряд требований, которые могут быть достигнуты как за счет легирования, так и в случае соединений магнитных элементов, обладающих нетривиальной топологией электронной структуры. Поэтому тематика работы, поставленные цели задачи представляются актуальными.

В работе получены новые знания в актуальном разделе физики конденсированного состояния. Новизна работы состоит в исследовании электронной структуры магнитных топологических диэлектриков, нового класса материалов, что делается в данной работе впервые. Данные получены с помощью самых современных методик и обладают высокой степенью достоверности. Таким образом, делается очередной необходимый шаг к практическому использованию топологических диэлектриков в электронике и спинтронике. В целом работу можно отнести к передовым исследованиям, ее результаты опубликованы в самых высокорейтинговых изданиях и имеют высокие показатели цитирования. В работе представлен большой объем экспериментальных наблюдений, приведен их анализ и сделаны обобщения о новом классе объектов физики конденсированного состояния. Понятно, что такие работы делаются большими коллективами авторов, поэтому вклад диссертанта должен быть выражен более четко.

Диссертационная работа ясно изложена, она состоит из введения, восьми глав и заключения. Возможно, количество глав выглядит несколько избыточным, но это не влияет на понимание результатов. Выводы, сделанные в работе, не вызывают сомнений.

Вместе с тем работа не лишена недостатков, можно сделать следующие замечания и отметить вопросы, возникающие при чтении, что носит скорее рекомендательный характер.

1. К общим недостаткам работы можно отнести недостаточную характеристику исследуемых материалов. Хорошо, что автор работы заинтересовался влиянием качества материала на его электронную структуру. Факт, что образцы получены в различных группах, не означает того, что они разные. Эти образцы не из космоса, можно было бы проанализировать причины их

различия или совпадения с материаловедческой точки зрения, охарактеризовать их состав объема (здесь возможны рентгеновская флуоресцентная спектроскопия, микронзондовый анализ (РСМА), химический анализ с растворением) и поверхности (РФЭС, ВИМС, ОЭС), более детально изучить кристаллическую и реальную структуру. В частности, все дифрактограммы сняты для монокристаллов, если использовать порошковую дифракцию, можно было бы получить гораздо больше информации. Здесь это критично, так как сильно влияет на электронную структуру. Автор предполагает возможные причины различий, вместе с тем их возможно было подтвердить.

2. Глава 3. Как определяли состав кристаллов, в частности содержание гадолиния? Как оно соотносится с пределом растворимости? Вывод о замещении гадолинием висмута или сурьмы сомнителен, при замещении 8 мольных процентов менялись бы параметры ячейки, а если гадолиний не входит в решетку, то включения примесной фазы на такой дифрактограмме заметить было бы практически невозможно. Нет доказательств, что гадолиний вообще имеется в образце. РФЭ-спектры основных уровней не приводятся. Резонансная фотоэмиссия валентной зоны не является прямым доказательством наличия гадолиния, вместе с тем есть множество прямых методов, позволяющих надежно определить концентрацию гадолиния более 1 атомного процента (ЛРСА, РФА, химанализ) и менее одного атомного процента (ВИМС). Магнитные данные, приведенные в работе, тоже не весьма убедительно показывают наличие магнитной примеси.
3. Глава 7. Состав и реальную структуру кристаллов семейства гомологических рядов фаз $MnBi_2Te_4(Bi_2Te_3)_m$ тоже крайне важно было независимо подтвердить, поскольку для слоистых фаз монокристалльные дифрактограммы с одной плоскости не слишком показательны, и уж точно ничего не говорят о реальной структуре, между тем нарушения в расположении слоев могут критически влиять на состав поверхности, получаемой путем случайного скола; этот состав в работе не анализируется.

По тексту диссертационной работы

4. Обзор литературы составлен слишком лаконично. Кроме того, в разделе 1.5 вопросы легирования освещены не совсем корректно. В частности, чистый теллурид висмута бывает и n- и p-типа в зависимости условий синтеза, также в целом изложение далеко от правильного («Для сдвига состояний в сторону меньших энергий связи можно замещать компоненты ТИ элементами с меньшим числом электронов»). Вообще эти соединения являются вырожденными полупроводниками, поэтому уменьшить концентрацию носителей с помощью примесей проводимости крайне сложно. В целом тут надо было бы писать о связи концентрации носителей в объеме и положения уровня Ферми.

5. Слоистая фаза в работе часто описывается неправильными терминами «модульные структуры» (стр. 36) «блочный кристалл» (стр. 39) и т.д.
 6. Все обсуждаемые легирующие металлы могут проявлять разные зарядовые состояния, что надо дополнительно исследовать, спорно утверждение, что V, а тем более Cr двухвалентен в матрице халькогенидов висмута.
 7. Раздел методы исследования содержит ненужную информацию из учебников. Кроме того, есть ошибки в использовании терминологии, касающиеся кристаллической и реальной структуры материалов (стр.57), в то же время недостаточно описаны экспериментальные установки, например, по магнитным измерениям.
 8. На рис 3.1а показана не дифракционная картина, а дифрактограмма монокристалла (не порошка), где присутствует только часть пиков дифракции отражений от одного семейства плоскостей.
 9. Есть путаница в том, что имеется в виду под модификацией электронной структуры. Изменение положения уровня Ферми к ней не относится (стр. 65).
 10. Каким методом получены данные о составе кристаллов в таблице 7.1? какова погрешность? Или это предполагаемый состав?
 11. В ряде случаев (стр. 67) концентрация примеси ошибочно указана в объемных долях? Видимо, имеются в виду молярные доли Gd_2Te_3 .
- Высказанные замечания и комментарии не умаляют значения данной работы и не влияют на ее высокую оценку.

Диссертация Естюнина Дмитрия Алексеевича на тему: «Электронная, спиновая структура и магнитные свойства собственных магнитных и магнитно-легированных топологических изоляторов» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Естюнин Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор химических наук,
в.н.с., химический факультет

Московского государственного университета

им. М.В. Ломоносова

Яшина Л.В.

09.06.2023

