

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. профессора Головина Ю.И.

на диссертационную работу Волчкова Ивана Сергеевича

**Воздействие слабых магнитных полей на реальную структуру и свойства  
полупроводниковых кристаллов CdTe(Cl) и CdTe(Cl, Fe),**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.18 - Кристаллография, физика кристаллов

**Актуальность и ценность работы для практики.** Интерес к возможному влиянию слабых магнитных полей (МП) на структуру и свойства магнитонеупорядоченных твердых тел обусловлен несколькими обстоятельствами. Во-первых, необходимо надежно установить экспериментально, существуют ли структуры и условия, в которых такое влияние в принципе возможно. Если ДА, то каковы физические механизмы такого влияния и какую роль оно может играть в живой и неживой природе, как можно его использовать для спектроскопии и диагностики состояния дефектной структуры твердых тел? Наконец, с прикладной точки зрения важно понять, можно ли применить такие магнитные воздействия для целенаправленного изменения свойств немагнитных твердых тел в желаемую сторону, и не могут ли они влиять бесконтрольно на приборы, средства связи и управления ответственными объектами под действием природных и техногенных магнитных полей.

В мировой литературе имеются обширные сведения о магнитоэлектрических эффектах в ионных кристаллах и единичные работы о влиянии слабых МП на состояние дислокаций в монокристаллическом кремнии. Надежная систематическая информация о возможности влияния МП на физические свойства полупроводниковых соединений, в частности, электрические, фотоэлектрические, механические практически отсутствовала до начала работ диссертанта в этом направлении. В связи с вышеизложенным актуальность темы диссертации И.С. Волчкова не вызывает сомнений.

**Теоретическая значимость и новизна.** Учитывая дискуссионность самой возможности наблюдения магнитных эффектов и постэффектов в электрических и механических свойствах магнитонеупорядоченных твердых тел (в частности, в полупроводниках) и определенного скепсиса значительной части физического сообщества в отношении реальности подобных эффектов, следует признать результаты, полученные в диссертационной работе И.С. Волчкова, принципиально важными для физики конденсированного состояния. Исходя из приведенных в диссертации экспериментальных данных, реальность изменений темновой фотопроводимости, микротвердости, шероховатости микрорельефа свободных поверхностей не вызывает сомнений. Достоверность сведений об обнаруженных и описанных постэффектах, возникающих после экспозиции образцов CdTe(Cl) и CdTe(Cl, Fe) в постоянном и импульсном магнитном поле с индукцией  $\sim 1$  Тл, подтверждается тем, что эксперименты были поставлены грамотно, в соответствии с научной методологией, величина зарегистрированных эффектов во много раз превышает статистическое рассеяние результатов и погрешности измерений. Эти

экспериментальные результаты однозначно являются новыми. Совокупность полученных данных (зависимость откликов на магнитную обработку от химического состава кристаллов и параметров магнитного поля, влияние магнитной обработки на микрорельеф поверхности, большие времена релаксации и др.) свидетельствует, что эти эффекты связаны с атомными дефектами их структуры. Это – безусловно, новые и значимые результаты.

Относительно конкретных механизмов подобных проявлений в магнитонеупорядоченных твердых телах можно и нужно дискутировать. Некоторые попытки таких подходов и обсуждений сделаны диссертантом. К ним можно предъявлять претензии, но это не отменяет ценности экспериментально фактов и значимости результатов чисто экспериментального ядра работы.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций,** сформулированных в диссертации. Оригинальные результаты, на основе которых сформулированы основные положения и выводы, изложены в третьей и четвертой главах. В третьей главе подробно описывается кинетика постэффектов изменения темновой проводимости и микротвердости в кристаллах CdTe(Cl) и микрорельефа их поверхности, а в четвертой главе – в кристаллах CdTe(Cl, Fe). Из представленных результатов следует, что воздействие слабого импульсного магнитного поля способно приводить к долговременным изменениям удельной темновой проводимости кристаллов CdTe(Cl) и CdTe(Cl,Fe). Причем кристаллы CdTe, n-типа проводимости, демонстрируют обратимое увеличение проводимости, а кристаллы CdTe, p-типа проводимости - необратимое падение.

Показано, что и магнитоиндуцированные изменения микротвердости также зависят от типа проводимости полупроводниковых кристаллов CdTe. Кристаллы CdTe(Cl), имеющие n-тип проводимости, демонстрировали три пика обратимого разупрочнения материала, а кристаллы CdTe(Cl) n-типа проводимости - три интервала обратимого упрочнения материала.

Обнаружено, что воздействие слабого импульсного магнитного поля приводит к обратимому изменению шероховатости поверхности кристаллов CdTe(Cl).

Все выводы и научные положения, сформулированные в работе, представляются экспериментально обоснованными и подтвержденными хорошо воспроизводимыми результатами измерений. Также они находятся в качественном соответствии с литературными данными.

**Достоверность результатов работы.** Несмотря на необычность приведенных в диссертации экспериментальных данных, их достоверность не вызывает сомнений по следующим причинам:

1. Применены современные методики и аппаратура;
2. Подробно описаны условия, в которых проводились эксперименты;
3. Проведена статистическая обработка данных и указаны погрешности измерений;
4. Все обсуждаемые эффекты имели величины, измеряемые десятками процентов (в некоторых случаях доходившие до 55%) от исходных характеристик измеряемых свойств, что многократно превосходит статистические погрешности измерений (следует отметить,

что это далеко не всегда имеет место в работах других авторов, описывающих магнитные эффекты в немагнитных средах).

Вместе с тем, по диссертации **имеются следующие замечания:**

1. Совершенно не ясно и никак не обосновано, почему в качестве критерия эквивалентности воздействия магнитного поля принято произведение  $B^2t$  (где  $B$  – индукция магнитного поля,  $t$  – время экспозиции объекта в нем). Вполне можно предположить линейную или другую зависимость от  $B$ , сложную нелинейную зависимость от  $t$ . Эти зависимости могут иметь насыщение при больших  $B$  и  $t$  или носить пороговый характер при малых  $B$  и  $t$ . Таких примеров можно найти множество в литературе. С одной стороны, квадратичная полевая зависимость предполагает, что определяющим фактором является энергия магнитного поля, с другой – эта энергия не зависит от времени пребывания объекта в постоянном поле. Да и в самой постановке задачи автор справедливо констатирует, что энергия, сообщаемая элементарным объектам в кристалле  $\sim B\mu_B$  (здесь  $\mu_B$  – магнетон Бора) в поле с  $B \sim 1$  Тл, мала по сравнению с тепловой энергией  $k_B T$  (здесь  $k_B$  – постоянная Больцмана) при комнатной температуре  $T$ . Эта энергия линейна, а не квадратична по  $B$  и не содержит фактора времени.
2. Реально не проверялось, работает ли этот критерий при сравнении результатов, полученных в импульсных и постоянных магнитных полях. Особенно интересно было бы провести эти сравнения результатов действия импульсного и постоянного поля при реальной суммарной продолжительности пребывания образцов в импульсном поле, а не по времени нахождения в соленоиде (учитывая, что скважность в потоке импульсов составляла  $\sim 100$ , т.е. первая продолжительность была на 2 порядка меньше второй). О сложной нелинейной зависимости от амплитуды и числа импульсов магнитного поля говорят и данные, приведенные на рис. 42. Есть путаница и в обозначениях. Так, под  $t$  понимается и текущее время на осциллограмме, и время реальной экспозиции в МП (сумма длительностей импульсов поля за все время пребывания образца в поле), и длительность пребывания образца в индукторе, включающая суммарную длительность импульсов и пауз между импульсами, хотя это три совсем разных времени.
3. Отсутствуют полевые и температурные зависимости эффектов, что делает затруднительным интерпретацию и обсуждение их механизмов. Кстати, полевые зависимости пролили бы свет и на вопросы, сформулированные в первом замечании.
4. Практически никак не обсуждается роль фронтов в импульсном магнитном поле, не оценивается роль вихревого электрического поля. Возбуждение носителей в нем и локальный (а не общий) разогрев могут играть существенную роль в механизмах наблюдаемых постэффектов. Также неясно происхождение нагрева образца – от вихревых токов в нем или от радиационно-конвективного нагрева со стороны индуктора.
5. Можно предъявить ряд претензий к качеству представления экспериментальных результатов. Автор в методической главе сообщает, что интервалы между отдельными измерениями были во много раз меньше продолжительности наблюдения постэффектов. Вместе с тем многие пики на кинетических кривых построены по одной-двум точкам, а

соседние точки, расположенные на графиках довольно редко, соединены пунктирной линией. Зачем это сделано в ущерб информативности эксперимента, если, как не без гордости сказано в методической главе 2, количество индивидуальных измерений проводимости в отдельном эксперименте доходило до нескольких миллионов?

6. Что реально измерялось в опытах с влиянием магнитной обработки на темновую проводимость не вполне ясно из описаний, содержащихся в главе 2. Рисунки 19 и 20 не проясняют ситуацию. На рис. 19 вольтметр показан включенным последовательно с источником питания и «столиком с образцом». Что он в этом случае измеряет, остается только догадываться. По какой схеме – двухточечной или четырехточечной происходили измерения проводимости?

7. На 6-ой странице автореферата сказано: **«продолжительность импульса магнитного поля  $\sim 6 \cdot 10^{-4}$  с, причем продолжительность фронта нарастания импульса  $\sim 10^{-6}$  с, интервал между импульсами магнитного поля  $\sim 8,3 \cdot 10^{-2}$  с. Осциллограмма импульса магнитного поля, используемого в данной работе, представлена на рис.10».**

Во-первых, на рис. 10 нет никакой осциллограммы, там показана кинетика неких постэффектов в кристалле. Во-вторых: важную информацию о методике следует приводить в начале, а не в конце работы. В-третьих, каким источником энергии и индуктором создавалось такое поле? Генерация магнитного поля в 1 Тл с фронтом в 1 мкс требует очень малой индуктивности индуктора и очень большого пикового тока (оценочно - в десятки кА-витков даже при сантиметровых характерных размерах индуктора). Повторение таких импульсов через  $\sim 8,3 \cdot 10^{-2}$  с потребует и большой средней мощности, а это приведет к разогреву всей установки и необходимости ее интенсивного охлаждения. Нигде не сказано, каким методом измеряли амплитуду и форму импульсов магнитного поля, с какой точностью. Все это вызывает сомнения в корректности измерений параметров импульсного магнитного поля.

8. Генерирование килоамперных токов неизбежно связано с подведением высокого напряжения к индуктору и созданию в нем не только магнитного и вихревого электрического поля, но и электрического поля, возникающего из-за большой разности потенциалов между отдельными частями индуктора и подводами тока к нему. Следовало бы подробнее описать ключевое устройство, участвующее в эксперименте, и его характеристики, чтобы не порождать сомнения в надежности приводимых затем результатов.

9. Несмотря на то, что в целом материал диссертации и автореферата изложен грамотно, нельзя не отметить небрежность в синтаксисе: зачастую причастные и деепричастные обороты не отмечаются запятыми, как и сложносочиненные предложения.

10. Список использованной литературы перетяжелен публикациями 10-20-30-летней давности, в нем очень мало ссылок на зарубежных авторов и практически отсутствуют ссылки на работы последних 3-5 лет.

**Заключение.** Несмотря на критические замечания, общее впечатление от диссертации Волчкова Ивана Сергеевича положительное. Полученные результаты изложены последовательно, с использованием соответствующей научной терминологии. Диссертация

аккуратно оформлена, существенных ошибок в тексте нет. Автореферат корректно отражает содержание диссертации. Диссертация Волчкова Ивана Сергеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда задач, имеющих существенное значение для физики конденсированного состояния.

Диссертация «Воздействие слабых магнитных полей на реальную структуру и свойства полупроводниковых кристаллов CdTe(Cl) и CdTe(Cl, Fe)» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, паспорту специальности 01.04.18, а ее автор - Волчков Иван Сергеевич - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.18 - Кристаллография, физика кристаллов.

### Официальный оппонент

Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор физико-математических наук,  
профессор, директор НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы»  
Тамбовского государственного  
университета имени Г.Р. Державина  
Головин Юрий Иванович

Адрес: Россия, 392000, г. Тамбов, Интернациональная д. 33  
Телефон: 8 (4752) 53-26-80 E-mail: nano@tsutmb.ru

