

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Маликова Ильи Валентиновича** «ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ ТУГОПЛАВКИХ, ФЕРРОМАГНИТНЫХ И «ПОЛОВИННЫХ МЕТАЛЛОВ: ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И СТРУКТУРЫ НА ИХ ОСНОВЕ» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и наноэлектронники, квантовых устройств»

В отзыве на автореферат **Ильи Валентиновича Маликова** удачно представлены основные результаты проделанной автором многолетней экспериментальной деятельности.

Автореферат диссертации вполне позволяет читателю оценить объем проделанной работы как и существенные результаты, достигнутые на этом пути.

Актуальность и новизна темы хорошо обоснованы в представленном автором тексте, причем «дружественный» стиль текста облегчает его восприятие читателем.

Даже одно краткое перечисление диссертантом полученных в ходе работы «**Основных результатов**» говорит об очень большой проделанной работе:

1. Найдены закономерности получения высококачественных монокристаллических пленок Mo и Nb с малой шероховатостью 0,2-0,4 нм внешней поверхности и рекордно большими остаточными длинами свободного пробега: в том числе корреляция остаточной длины свободного пробега электронов с отклонением направления роста пленок Nb от нормали к поверхности сапфира и формой рентгеновских дифракционных пиков. Выявлена трансформация сверхтонких пленок Mo и Nb по механизму Странского-Крастанова при прерывании процесса роста. Выяснено, что свойства гетероэпитаксиальных пленок Mo-Nb не зависят от порядка чередования слоев.
2. Установлено влияние микроморфологии внешней поверхности эпитаксиальных пленок, внутренней границы раздела в двух- и трехслойных гетероэпитаксиальных пленках из Mo и Nb на их проводимость.
3. Показано проявление в наноструктурах на основе тугоплавких металлов Mo и Nb баллистических эффектов: смена знака дифференциального удельного сопротивления в крестообразных структурах от положительного к отрицательному при охлаждении образца; влияние длины свободного пробега электронов в полуэпитаксиальных крестообразных наноструктурах Mo/Nb на нелинейность вольтамперных характеристик; фокусировка электронов в поперечном магнитном поле.
4. Показана возможность наблюдения баллистических эффектов в крестообразных наноструктурах на подложках GaAs (001), полученных путем последовательной эпитаксии слоев MgO (001) и W (001), в том числе при комнатной температуре при отношении ширины структуры к ее толщине $W_c/d \approx 1$ и ширине $W_c \sim 10$ нм.
5. Установлены закономерности получения высококачественных монокристаллических пленок ферромагнитных металлов Ni и Fe с малой шероховатостью поверхности и рекордно большими остаточными длинами

свободного пробега электронов, а также их островковых пленок. Выявлена корреляция зависимостей остаточной длины свободного пробега, шероховатости и коэрцитивной силы, от температуры роста пленок Fe (001), выращенных на R - плоскости сапфира с подслоем Mo. Обнаружены необычные, имеющие максимум, зависимости перколяционной толщины (ПТ) и размера островков от частоты импульсов при неизменном потоке вещества в импульсе при росте островковых пленок Fe.

6. Обнаружены нелокальные токовые эффекты в структурах на основе эпитаксиальных пленок ферромагнитных металлов: переключение направленности намагниченности в квадратных эпитаксиальных микроструктурах Fe (001) спин-поляризованным током; гигантский изгибный магниторезистивный эффект для крестообразной структуры из высококачественной эпитаксиальной пленки Ni; зависимость знака дифференциального электросопротивления от протекающего тока через структуру Ni/NiO/Fe и от толщины NiO.

7. Выявлены особенности реактивного синтеза пленок Fe₃O₄ и многослойных пленок типа (R- плоскость сапфира)/MgO/Fe/MgO/Fe₃O₄: в том числе, плато устойчивого роста; наклон от нормали каждого из выращенных слоев на угол около 3,5 угловых градусов при росте многослойных пленок.

8. Установлены закономерности устойчивого получения инверсии анизотропного магнитосопротивления для пленок Co₂FeSi и Co₃Si и одноосной магнитной анизотропии при росте пленок сплавов Гейслера; корреляция минимума коэрцитивной силы H_c на температурной зависимости с упорядоченной структурой сплавов Гейслера Co₂FeSi, Co₃Si, Co₂NiSi и Co₂FeAl.

9. Расширены возможности использования литографии с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ) проводящим зондом для формирования оксидной маски на поверхности пленки Nb с последующим электрохимическим травлением для формирования структур из пленок большей толщины по сравнению с традиционной АСМ литографией.

Наибольший интерес у меня вызвали результаты, приведенные диссертантом для «крестообразных образцов», это очень трудный и для получения, и для исследования объект.

Работа выполнена на очень высоком уровне и, несомненно, послужит важной «вехой» для дальнейшего развития.

В тексте автореферата все-таки встречаются отдельные неточности формулировок. Например, в пункте 3 приведенных выше «Основных результатов» автор отметил «смену знака сопротивления в крестообразных структурах....», но, на мой взгляд, было бы точнее писать о смене знака дифференциального удельного электросопротивления в крестообразных структурах.

На странице 14 в подписи к Рис.4 точнее было бы писать о форме линии {110}, а не (011), поскольку линия была порождена всей совокупностью кристаллографических плоскостей.

Указанные замечания ни в коей мере не ставят под сомнение достоверность основных полученных Ильей Валентиновичем Маликовым результатов, изложенных в автореферате его диссертационной работы.

В целом, данная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Илья Валентинович Маликов без сомнения заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектронники, квантовых устройств».

Отзыв составил **Гнесин Борис Абрамович**, ведущий научный сотрудник Института Физики Твердого Тела РАН, доктор технических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния» 03.10. 2024 г., 142432 г. Черноголовка, улица академика Осипьяна д.2. Лаборатория Материаловедения.

Моб. Телефон 8 926 942 55 59, электронная почта gnesin@issp.ac.ru.

 / Гнесин Б.А. /

Подпись Гнесина Б.А. удостоверяю , 

МП

/ Ученый Секретарь ИФТТ РАН, /Терещенко Алексей Николаевич/

Я, **Гнесин Борис Абрамович**, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.106.01 при Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН по адресу: 142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 6, ИПТМ РАН

 / Гнесин Б.А. / 03.10. 2024 г.,