

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Маликова И. В. «**Эпитаксиальные пленки тугоплавких, ферромагнитных и половинных металлов: получение, свойства и структуры на их основе**», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

В процессе развития электронной компонентной базы для микро- и наноэлектроники происходит миниатюризация устройств. Уменьшение размеров ведет к изменению свойств твердотельных структур. Длина свободного пробега (ДСП) электронов проводимости может стать соизмеримой с размерами структур или быть больше этих размеров, что может приводить к баллистическому транспорту электронов. При современных технологиях изготовления наноструктур реализация этого эффекта становится возможной в металлах даже при комнатной температуре, что послужило причиной развития металлической наноэлектроники. Очевидно, что в эпитаксиальных монокристаллических пленках, особенно в наноразмерных металлических гетероструктурах, существенное влияние на их проводящие свойства будут оказывать границы раздела, в том числе, внутренние границы между слоями, транспортные свойства баллистических наноструктур будут зависеть также от встроенных потенциалов. Исследования показали перспективность использования магнитных металлов и сплавов в качестве активных электронных элементов в спинтронике, в магнитных нано-переходах для спин-инжекционных источников и детекторов ЭМ излучения.

В представленной диссертационной работе поставлены и решены актуальные для развития современной микро- и наноэлектроники задачи получения эпитаксиальных пленок тугоплавких металлов (W, Mo, Nb), ферромагнитных металлов (Fe, Ni), полуметаллов (сплавов Гейслера, Fe_3O_4), исследованы механизмы их роста, структура (морфология и шероховатость поверхности, монокристалличность, кристаллографическая ориентация) и свойства (резистивность, длина свободного пробега электронов, баллистические эффекты, магнитосопротивление, коэрцитивная сила) при различных условиях роста пленок.

Новизна работы состоит в том, что на основе установленных основных закономерностей роста удастся выращивать тонкие высококачественные эпитаксиальные (в том числе

гетероэпитаксиальные двух- и трехслойные) монокристаллические пленки тугоплавких металлов Mo и Nb методом импульсного лазерного осаждения в сверхвысоком вакууме. Эти пленки являются сплошными, имеют совершенную ОЦК кристаллическую решетку, обладают малой шероховатостью поверхности и большой остаточной длиной пробега электронов, значительно превышающей их толщину. Впервые показано, что ДСП и температура сверхпроводящего перехода не зависят от порядка чередования слоев в двухслойных пленках Mo/Nb, что указывает на одинаковое качество взаимной эпитаксии. Впервые созданы крестообразные баллистические структуры на основе Mo/Nb пленок и показано, что встроенный потенциал на внутренней границе раздела оказывает заметное влияние на их проводимость. Для баллистической полуэпитаксиальной структуры Mo/Nb встроенный потенциал приводит к смене знака изгибного сопротивления в зависимости от направления тока.

Получены крестообразные баллистические ферромагнитные структуры Ni, в которых впервые наблюдался гигантский изгибный магниторезистивный эффект.

Реализован островковый рост пленок Fe с контролируемым размером островков. Исследована зависимость номинальной перколяционной толщины пленки и размера островков от частоты импульсов ИЛО. Впервые обнаружена и исследована обратная корреляция коэрцитивной силы и длины свободного пробега электронов высококачественных пленок (001)Fe в зависимости от температуры роста. Впервые определены размеры и ориентация структур (001)Fe и (011)Fe в однодоменном состоянии. Исследовано влияние температуры на магнитные свойства и шероховатость пленок сплавов Гейслера Co₂FeSi, Co₂FeAl, Co₃Si. Впервые в пленках сплавов Co₂FeSi, Co₂FeAl получена одноосная магнитная анизотропия, необходимая для спин-инжекторов и детекторов ЭМ излучения.

С помощью моделирования предсказаны значительные баллистические эффекты даже при комнатной температуре, когда ширина плеча W_c крестообразной структуры приближается к 10 нм и для соотношения ширины структуры к ее толщине $W_c/d \sim 1$. Реальные структуры, соответствующие этим критериям, представляют собой монокристаллические вольфрамовые наноструктуры на подложках MgO/GaAs (001), ДСП в которых превышает толщину структуры на порядок и ширину ее поперечного сечения почти в два раза; в них при температурах ниже $T=80$ К наблюдались сильные нелокальные эффекты, возникающие в результате баллистического переноса электронов.

