

Магнитооптическое исследование тонкопленочных Fe/Zr, Fe/Zr/Fe тонкопленочных систем

Максимова Галина Валерьевна¹

студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: galmax86@mail.ru

Введение

В последнее время большое внимание уделяется изучению физических свойств тонких магнитных плёнок 3d-переходных металлов и полученных на их основе многослойных тонкопленочных систем, представляющих собой чередование магнитных и немагнитных слоёв субмикронной толщины. Обусловлено это обнаружением в них ряда новых явлений, таких как гигантское магнетосопротивление, осциллирующее обменное взаимодействие между ферромагнитными слоями через немагнитную прослойку, квантовые размерные эффекты, а также применением этих материалов в различных устройствах современной микроэлектроники. Результаты уже проведенных исследований тонких пленок и многослойных систем позволили решить ряд проблем физики магнитных явлений. В частности, существенно расширились представления о влиянии границы раздела между магнитной пленкой и подложкой, а также между магнитными и немагнитными слоями на формирование кинетических, магнитных и магнитооптических свойств тонкопленочных магнитных структур (ТПМС). Исследовано влияние микроструктуры подложки (морфологии ее поверхности и ориентации зерен) на магнитные свойства тонких пленок. Однако, по-прежнему, заслуживающей внимания проблемой является изучение влияния толщины и состава магнитных и немагнитных слоев на магнитные свойства ТПМС. Существует много методов исследования тонкопленочных образцов, в частности, рентгеновский метод, эффект Холла, метод мёссбауэровской спектроскопии, вибрационный магнетометр, СКВИД магнетометр, бриллюэновское рассеяние света, спин поляризационное отражение и т. д. Однако наиболее широко применяемыми методами исследования тонкопленочных магнитных структур являются магнитооптические. Обусловлено это тем, что эти методы применимы в широкой области магнитных полей и температур. Они позволяют изучать магнитные и магнитооптические свойства, как ультратонких магнитных пленок, так и многослойных тонкопленочных систем. **Цель данной работы** состояла в магнитооптическом исследовании магнитных свойств тонкопленочных Fe/Zr и Fe/Zr/Fe магнитных систем.

Исучаемые образцы и методы их исследования

Тонкопленочные Fe/Zr и Fe/Zr/Fe системы были получены методом DC магнетронного напыления при базовом давлении в вакуумной камере меньше 10^{-8} Торр и давлении рабочего газа (аргона) 1×10^{-3} Торр. В первой серии Fe/Zr образцов толщина Fe слоев была равна 20 нм, а толщина Zr слоя, напыленного между Fe пленкой и подложкой, изменялась от 0.7 до 10 нм. Во второй и третьей Fe/Zr/Fe сериях толщина Fe (Zr) слоев была фиксирована, а толщина Zr (Fe) слоя изменялась. Наличие периодических структур (четко выраженных границ раздела) в исследуемых образцах было подтверждено данными рентгеноструктурного анализа. Микроструктура образцов была изучена с помощью рентгеновского дифракционного анализатора. Измерения петель гистерезиса и кривых намагничивания были выполнены на магнитооптическом магнетометре с помощью

¹ Тезисы доклады основаны на материалах исследований, проведенных в рамках гранта Российского гранта фундаментальных исследований (грант № 05-02-1629).

² Автор выражает признательность профессору, дфмн Шалыгиной Е.Е. за помощь в подготовке тезисов.

экваториального эффекта Керра при двух ориентациях внешнего магнитного поля H , приложенного в плоскости образцов и перпендикулярно плоскости падения света. В одном случае направление H совпадало с направлением магнитного поля, приложенного параллельно подложке в процессе приготовления пленок (направление D1), а в другом - было перпендикулярно этому направлению (D2).

Результаты

Было обнаружено, что кривые намагничивания и петли гистерезиса Fe/Zr и Fe/Zr/Fe тонкопленочных систем, измеренные для двух направлений магнитного поля (D1 и D2), сильно различаются, что свидетельствует о наличии в этих образцах плоскостной магнитной анизотропии. В поле, параллельном D1, наблюдается практически прямоугольная петля гистерезиса, а в поле, параллельном D2, - так называемая безгистерезисная петля, характеризующаяся практически нулевыми значениями остаточной намагниченности и коэрцитивной силы. В случае D1 перемагничивание образца может осуществляться за счет необратимого роста зародышей перемагничивания, а в случае D2 - за счет вращения вектора намагниченности в плоскости образца. Причиной появления плоскостной магнитной анизотропии в изучаемых системах является наличие внешнего магнитного поля $H \sim 70$ Э, приложенного параллельно плоскости подложки в процессе изготовления образцов. Ранее предполагалось, что основным механизмом наведенной МА является направленное упорядочение примесных центров, роль которых могут выполнять вакансии, дислокации и другие дефекты. В настоящее время многие авторы считают, что наведенная магнитная анизотропия обусловлена парным упорядочением атомов.

Установлены особенности поведения магнитных характеристик изучаемых образцов с изменением толщины магнитного и немагнитного слоев. В частности, в случае Fe/Zr систем максимальные значения поля насыщения H_s и коэрцитивной силы H_c наблюдаются при $t_{Zr} = 4$ нм. При t_{Zr} меньше и больше 4 нм значения H_s и H_c уменьшаются. Полученные экспериментально зависимости $H_s(t_{Zr})$ и $H_c(t_{Zr})$ были объяснены структурными особенностями изучаемых образцов. Наибольшее внимания заслуживают результаты исследования магнитных свойств Fe/Zr/Fe тонкопленочных систем. Было обнаружено, что для этих тонкопленочных систем зависимость поля насыщения H_s от толщины немагнитного (магнитного) слоя при фиксированной толщине магнитного (немагнитного) слоя имеет осциллирующий характер. При этом форма петель гистерезиса в магнитном поле, параллельном D1, существенно различаются для образцов с минимальным и максимальным значениями H_s . Полученные экспериментальные данные были объяснены наличием обменного взаимодействия между магнитными слоями через немагнитный слой и его осцилляционным поведением с изменением толщины немагнитного (магнитного) слоев. Согласно существующим представлениям, если обмен между слоями осуществляется за счет РККУ-взаимодействия, период осцилляций Λ поля насыщения должен быть порядка π/k_F (k_F - волновой вектор Ферми), который для большинства металлов равен 0.3 - 0.4 нм. В нашем случае, Λ было больше, чем π/k_F . Это свидетельствует о том, что теоретические оценки этого параметра должны быть выполнены с учетом квантового размерного эффекта, то есть должно быть принято во внимание изменение электронной структуры ультратонкого магнитного слоя (появление так называемых Quantum Well States (QWS's)) по сравнению с объемным материалом. В этом случае период осцилляций Λ должен быть равен $\pi/[k_{BZ} - k_F]$, где k_{BZ} - значение вектора к границе зоны Бриллюэна в направлении, перпендикулярном поверхности пленки, и рассчитанное значение Λ равно 1 - 1.2 нм.