

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Яковлева Ивана Александровича «Получение, структура и магнитные свойства тонкопленочных силицидов железа», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07- физика конденсированного состояния.

Повышение быстродействия современных кремниевых интегральных схем связано с уменьшением размеров активных элементов вплоть до единиц нанометров, а расширение их функциональных возможностей в ближайшем будущем будет связано с инжекцией тока с управляемым спином. Однако в настоящее время спиновая инжекция в кремниевых транзисторах является не решенной проблемой, что в первую очередь связано с проблемой создания резкой границы раздела между ферромагнитным слоем (спиновым инжектором) и кремнием. Одним из возможных решений может оказаться создание на кремнии слоя трисилицида железа, обладающего высокой спиновой инжекцией (до 43%). Однако способы роста и свойства таких слоев исследованы недостаточно. Диссертационная работа Яковлева И.А. посвящена определению влияния различных технологических условий на формирование наноструктур Fe – Si на подложках Si(001) и Si(111) и выявлению их структурных и магнитных характеристик, что является, несомненно, актуальной задачей для физики конденсированного состояния.

Основным методическим результатом диссертации является отработка методик роста наноструктур железа, дисилицида и трисилицида железа на атомарно-чистой поверхности кремния Si(001)2x1 с осаждением железа под углом к поверхности подложки. Практическая значимость работы заключается в реализации одноосной магнитной анизотропии в пленках железа и силицидов, осажденных под углом к подложке. К наиболее существенным научным результатам диссертации необходимо отнести следующее:

- 1) получена эпитаксиальная пленка ферромагнитного силицида $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Si}(111)$ толщиной до 20 нм с резкой границей раздела, одноосной магнитной анизотропией в плоскости пленки, малой коэрцитивной силой (12.3 Э) и сравнительно узкой линией ферромагнитного резонанса ($\Delta H = 11.57$ Э);
- 2) предложен механизм формирования магнитной анизотропии пленок железа на подложках Si(001) и $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$ при осаждении железа под углом к поверхности;
- 3) определены оптимальные температуры формирования железа (150 °C) и дисилицида (450 °C) железа на подложках Si(001)2x1, определена их структура и морфология при толщинах осажденного железа до 2.0 нм;
- 4) пленка (толщиной до 50 нм) полупроводникового дисилицида железа ($\beta\text{-FeSi}_2$), состоящая из разориентированных островков, формируется при со-осаждении Fe и Si в соотношениях 1:2 и 3:1 на поверхности Si(001)2x1 при температуре 500 °C.

Замечания.

- Неинформативно сформулирована новизна в ряде пунктов. Новизной не могут являться: «систематическое исследование магнитных и структурных свойств пленок, полученных со-осаждением Fe и Si в широком диапазоне соотношений потоков напыляемых материалов и температур» и «... структурные характеристики пленок силицида $\beta\text{-FeSi}_2$, полученных совместным осаждением при различных соотношениях скоростей потоков Fe и Si».
- в общем виде и неинформативно сформулировано второе защищаемое положение, не отражающее сути полученного результата: «на формирование магнитного состояния структур Fe влияет взаимное расположение потока материала и подложки, а также выбор подложки Si(001) или Si(111)».

- не объяснено, почему пленка $\beta\text{-FeSi}_2$ формируется на подложке $\text{Si}(001)2\times 1$ при $500\text{ }^\circ\text{C}$ независимо от стехиометрического соотношения Fe:Si (1:2 или 3:1)?

Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в 4 статьях, рекомендованных ВАК РФ для защиты кандидатских диссертаций, а также - доложены на нескольких российских и международных конференциях и по своей тематике соответствуют теме представленной диссертации.

В целом, судя по автореферату, диссертационная работа И.А. Яковлева выполнена на высоком научном уровне, а сделанные замечания не уменьшают ее значения. Считаю, что диссертация И.А. Яковлева удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Заместитель директора по
научно-образовательной и
инновационной деятельности,
научный руководитель лаборатории
оптики и электрофизики ИАПУ,
доктор физ.-мат. наук, профессор
по специальности «физика
конденсированного состояния»



Н.Г. Галкин

03.09.2014 г.