

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Париновой Елены Владимировны  
«Электронно-энергетическое строение и фазовый состав аморфных  
нанокompозитных пленок  $a\text{-SiO}_x - a\text{-Si:H}$ », представленной на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика  
полупроводников**

Актуальность выбранной тематики диссертационной работы Париновой Е.В. продиктована стремительным развитием кремниевых технологий, включая технологии солнечных элементов, элементов кремниевой оптоэлектроники, а также ростом требований к диагностической базе.

В основе работы лежит идея использования высокотехнологичных, неразрушающих методов диагностики, таких, как ультрамягкая рентгеновская эмиссионная спектроскопия (УМРЭС), спектроскопия квантового выхода с использованием синхротронного излучения (КВ), спектроскопия оптического поглощения и фотолюминесценции, рентгеновская дифракция, с целью анализа и установления закономерностей электронно-энергетического строения, фазового состава и оптических свойств нанокompозитов  $a\text{-SiO}_x - a\text{-Si:H}$  с нанокластерами и нанокристаллами кремния. Автором работы изучены нанокompозиты  $a\text{-SiO}_x - a\text{-Si:H}$ , полученные с использованием разных технологий, при разных технологических условиях, что имеет свою практическую ценность. В работе получены следующие, наиболее важные, с моей точки зрения, результаты:

1. Автором установлено, что использование модуляции плазмы на постоянном токе с вариацией времени включения и выключения магнитного поля позволяет получить пленки аморфного субоксида кремния с концентрацией кластеров аморфного кремния от 15 до 76 %.

2. Показано, что пленки  $a\text{-SiO}_x:H$ , полученные газоструйным химическим осаждением с активацией электронно-пучковой плазмой, в поверхностных (около 5 нм) и приповерхностных (60 - 120 нм) слоях представляют собой композит на основе аморфного кремния и оксидов различной степени окисления. Увеличение температуры подложки приводит к росту содержания оксидов кремния в пленках  $a\text{-SiO}_x:H$  уже на этапе их формирования. При этом обнаруживается сдвиг дна зоны проводимости оксида кремния на 1-2 эВ.

3. Для полуизолирующего поликристаллического кремния, формируемого химическим осаждением при низких давлениях в рамках производственных технологий, показано влияние состава реакторной смеси на аморфизацию и окисление получаемой пленки с возможным образованием малых нанокристаллов кремния. Установлено существование условного порога содержания кислорода выше 10 ат.% для перехода нанокристаллических слоев в аморфные.

Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе Париновой Е.В., не вызывает сомнений. Результаты работы опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК. Работа прошла хорошую апробацию на международных и Российских конференциях. В рамках экспериментальных исследований было задействовано современное оборудование центра генерации синхротронного излучения третьего поколения BESSY II.

По автореферату имеются следующие замечания и вопросы.

- В автореферате приводятся результаты численного моделирования экспериментальных спектров УМРЭС, на основании чего делается вывод о содержании в пленках  $a\text{-SiO}_x - a\text{-Si:H}$  кластеров кремния и кислорода (рис. 1а, 4а), однако ничего не говорится о методе численного анализа, не упоминается, учитывалось ли при численном моделировании наличие неоднородности (многослойности) пленок. Последнее важно при

анализе пленок, полученных методом магнетронного напыления с модуляцией плазмы. Были ли какие-то экспериментальные исследования, полученные «прямыми» методами, например методом вторичной ионной масс-спектрометрии, позволяющие подтвердить выводы работы?

- К сожалению, поскольку, используя методы УМРЭС и КВ в своей работе, автор не различает аморфную и кристаллическую структуру имеющихся кластеров кремния в пленках  $\text{SiO}_x\text{-a-Si:H}$ , несколько надуманным выглядит вывод о принадлежности люминесцентного отклика в диапазоне длин волн  $\sim 660$  нм нанокластерам кремния с размерами 3-5 нм. С чем связан пик на длине волны  $\sim 420$  нм, наблюдаемый в спектре фотолюминесценции?

- При анализе спектров оптического поглощения можно было бы учесть интерференционный отклик, что позволило бы сделать вывод о крае запрещенной зоны пленок  $\text{a-SiO}_x\text{-a-Si:H}$  более достоверным.

Ознакомившись с авторефератом представленной диссертации «Электронно-энергетическое строение и фазовый состав аморфных нанокompозитных пленок  $\text{a-SiO}_x\text{-a-Si:H}$ », считаю, что данная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Парина Елена Владимировна заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - «Физика полупроводников».

01.12.2016

/Степихова М.В./

Степихова Маргарита Владимировна

кандидат физ.-мат. наук,

научный сотрудник отдела 110

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики

Российской академии наук»

Институт физики микроструктур РАН (ИФМ РАН)

ул. Академическая, д. 7, д. Афонино, Нижегородская обл., Кстовский район,

603087, Россия.

Телефон: (831) 417-94-82 доп. 273

Эл. почта: [mst@ipm.sci-nnov.ru](mailto:mst@ipm.sci-nnov.ru)

Подпись М.В. Степиховой удостоверяю

Ученый секретарь ИФМ РАН,

кандидат физ.-мат. наук



/Гапонова Д.М./