

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
Илларионова Юрия Юрьевича «Туннельный транспорт носителей и
связанные с ним физические явления в структурах золото – фторид кальция –
кремний (111)», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика
полупроводников**

Диссертационная работа Илларионова Ю.Ю. относится к области физики структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) и посвящена целенаправленному изучению фторида кальция как материала для приборов кремниевой функциональной электроники. Автор сосредоточил свое внимание на исследовании туннельного транспорта носителей через слои фторида кальция, что представляет особый интерес, учитывая кристаллическую природу этого материала, отличающую его от обычно используемых в МДП-структурах аморфных диэлектрических слоев.

Актуальность темы диссертационной работы Илларионова Ю.Ю. обусловлена разработкой и широким применением приборов твердотельной электроники и оптоэлектроники на основе разных МДП-систем, физико-химические свойства которых и являются объектом внимания ученых. Много усилий направляется на оптимизацию технологии синтеза пленок новых диэлектриков с перспективой формирования приборных структур. В этом плане CaF_2 вызывает несомненный интерес как материал для использования в кремниевой электронике при изготовлении транзисторов (подзатворный диэлектрик) и резонансно-туннельных диодов (барьерные слои). Данный материал обладает достаточно широкой запрещенной зоной, высокой диэлектрической проницаемостью и высоким значением поля пробоя. Важным обстоятельством является возможность эпитаксиального роста фторида кальция на кремнии ввиду близости постоянных решеток CaF_2 и Si. Поэтому диссертационная работа Илларионова Ю.Ю., доказывающая возможность изготовления структур Au- CaF_2 -Si(111), характеризующихся туннельным механизмом протекания сквозного тока, с последующим изучением их электрофизических свойств, является актуальной и с научной, и с практической точки зрения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем составляет 135 страниц машинописного текста, включая 84 рисунка и 2 таблицы. Список литературы содержит 128 ссылок.

Новизна исследований и полученных результатов

Проведенная работа включала в себя технологическую, измерительную и теоретическую составляющие. Наиболее интересные новые научные результаты, полученные соискателем, можно сформулировать в виде следующих положений:

- Впервые изготовлены МДП-структуры, содержащие в качестве диэлектрического слоя сверхтонкие кристаллические слои CaF_2 с крайне малыми ($< 2 \text{ \AA}$) флуктуациями толщины, характеризующиеся преимущественно туннельным механизмом переноса заряда.
- Усовершенствованы методики моделирования электрических характеристик МДП-структур путем учета «непрямозонности» кремния и наличия тока валентной зоны с туннелированием через «верхний» барьер, что обеспечило возможность проведения расчетов для системы $\text{Au-CaF}_2\text{-Si}$. Разработанные подходы были адаптированы для использования в промышленных симуляторах.
- Впервые показано, что токи обратной ветви ВАХ увеличиваются при внешнем освещении структур, т.е. что обратносмещенная структура $\text{Au-CaF}_2\text{-Si}$ способна работать как фототранзистор с туннельным МДП-эмиттером и индуцированной базой с коэффициентом усиления до 10^3 .
- Обнаружена электролюминесценция структур $\text{Au-CaF}_2\text{-Si}$, связанная с инжекцией горячих электронов в кремний, на основании анализа спектрального состава которой в работе дополнительно подтвержден вывод о бездиссипативном туннельном характере транспорта электронов через слои фторида кальция.

Достоверность полученных автором в работе научных результатов определяется соответствием теоретических и экспериментальных данных, тщательностью подготовки и проведения эксперимента, а также использованием комплекса современных методов исследования. Обоснованность выводов и положений подтверждается корректностью постановки задачи и их апробацией в публикациях и докладах на конференциях.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что полученные экспериментальные результаты вносят вклад в физику электронных явлений в МДП-структурах. Представленные результаты иллюстрируют достигнутый уровень технологии эпитаксиального роста нанометровых слоев CaF_2 на $\text{Si}(111)$. Тем самым работа подводит итог определенного этапа исследования тонких МДП-структур на основе фторида кальция и происходящих в них процессов и является основой для составления научно-технических рекомендаций по практическому использованию изученного материала.

Результаты исследования, полученные диссертантом, представляют несомненный интерес для физики полупроводников и могут быть рекомендованы

для использования в академических и отраслевых НИИ, а также – в вузах, где занимаются процессами получения и исследованием диэлектрических материалов для МДП-структур (СПбГПУ, МГУ, НГУ, СПбГУ, МФТИ), на предприятиях и в учреждениях соответствующего профиля.

По теме диссертации **опубликовано** 13 печатных работ в рецензируемых журналах и 9 тезисов докладов конференций, раскрывающих основное содержание и научные положения диссертации.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации, выводы и основные результаты, выносимые на защиту.

Замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа не лишена недостатков, основные из которых сводятся к следующему:

1. В работе недостаточно полно использовались возможности измерения вольт-фарадных характеристик исследуемых структур. Следовало бы записать и проанализировать большее число вольт-фарадных кривых с целью выявления зарядового состояния диэлектрического слоя, а также возможности образования инверсионного слоя в кремнии (раздел 4.1). Измерения ВФХ структур Au-CaF₂-Si могли бы помочь в объяснениях наблюдаемого уменьшения тока в образцах после длительного хранения и при обсуждении деградиационных процессов.
2. Из работы остается неясным, с чем связано следующее обстоятельство: ВАХ МДП-структур оказались практически симметричны относительно 0 приложенного напряжения, в то время как значение потенциала плоских зон из графиков на рис. 4.1 примерно соответствуют значению -1 В.
3. При обсуждении деградиационных механизмов изменения проводимости структур не рассматривалась возможность изменения зарядового состояния областей межфазовых границ кремний-диэлектрик, золото-диэлектрик, а также объема диэлектрика.
4. В работе, к сожалению, отсутствуют сведения о форме (целиком) спектра люминесценции структур Au/CaF₂/p-Si(111) и ее изменениях с напряжением даже на качественном уровне.
5. В работе не нашлось места иллюстрациям, представляющим результаты измерений ВАХ МДП-структур с тонким фторидом кальция из более ранних публикаций. Наличие такого рода экспериментальных данных (и «чужих», и полученных коллегами автора до начала работы) помогло бы акцентировать прогресс, достигнутый в ходе диссертационного исследования.

6. К сожалению в работе отсутствует список сокращений и условных обозначений.

Заключение

Указанные критические замечания не изменяют общего положительного впечатления от диссертации, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченное научное исследование. Содержание диссертации соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2014 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК Минобрнауки РФ, а её автор Илларионов Юрий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры
электроники твердого тела Санкт-Петербургского
государственного университета



Барабан Александр Петрович

16 декабря 2014 г.
198504 Санкт-Петербург, Петродворец
Ульяновская, д.1
a.baraban@spbu.ru
т.р.428- 44- 98

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЕН. НАЧАЛЬНИК
ОТДЕЛА КАДРОВ
Н. А. ГОРИНОВА

А. П. Барабана

