

Отзыв
официального оппонента

на диссертацию Сахарова Юрия Владимировича «Структура и свойства пористых оксидных пленок, модифицированных углеродом», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Тонкие пористые пленки неорганических оксидных диэлектриков представляют значительный интерес как для научных, так и для технологических целей. Однако методы их получения и характеристики далеки от совершенства, что ограничивает сферу их применений. С этой точки зрения диссертационная работа Сахарова Юрия Владимировича, посвящённая разработке физико-химических основ создания тонких (десятки-сотни нанометров) мезопористых (десятки нанометров) плёнок SiO_2 , TiO_2 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 магнетронным распылением соответствующих мишеней в атмосфере кислорода с добавлением углерода, а также изучению основных свойств синтезированных плёнок, является актуальной, имеющей не только научное, но и большое прикладное значение для таких отраслей как микроэлектроника, оптоэлектроника, электро- и радиоизмерительная техника, энергетика и других.

Автор предложил и успешно реализовал оригинальный метод синтеза тонких оксидных пленок в мезапористом состоянии за счёт добавления в распыляемую в магнетронном разряде мишень добавок углерода. Оказалось, что в зависимости от доли углерода в распыляемой магнетроном области мозаичной мишени можно получать оксидные плёнки толщиной в десятки-сотни нанометров с пористостью вплоть до 75% и эффективным радиусом пор (10-40) нм. Всестороннее и тщательное изучение свойств пористых пленок, синтезированных таким методом показало, что они обладают рядом полезных свойств, которые можно успешно использовать в полупроводниковой и оптоэлектронной промышленности, при создании эффективных датчиков влажности и содержания углеводородов, для МДМ-катодов, мемристоров и других устройств современной техники и технологии.

Не останавливаясь на изложении содержания шести глав диссертации, которые написаны хорошим языком и практически не содержат грамматических ошибок и опечаток, отмечу основные, наиболее значимые, на мой взгляд, результаты работы, определяющие научную

новизну и практическую ценность сформулированных положений и выводов:

- мезопористая самоорганизующаяся структура оксидных тонких пленок диэлектриков может достигаться при распылении мозаичных двухкомпонентных мишеней Si:C, Ta-C, Ti:C, Nb:C в атмосфере кислорода и осаждении продуктов распыления на подложки. Причём размером пор от 10 до 40 нанометров и пористостью плёнки в диапазоне (10-75) % можно целенаправленно управлять, меняя режимы их синтеза;
- установлено, что по сравнению со сплошными пленками у образующихся мезапористых структур существенно уменьшаются такие параметры как: электрическая прочность и проводимость до 10 раз, тангенс угла диэлектрических потерь до 5 раз и эффективная диэлектрическая проницаемость до 2-х раз, что может быть с пользой использовано в различных устройствах и датчиках;
- при использовании МДМ-катода на основе пористых оксидных пленок, синтезированных предложенным методом, достигнуто 5-15 кратное увеличение плотности эмиссионного тока за счет оптимизации процесса электрической формовки диэлектрических пленок TiO_2 , SiO_2 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , при которой не только повышается плотность (количество) эмиссионных центров, но и снижается электронное сродство формованного диэлектрика;
- показано, что при увеличении пористости изучаемых оксидных диэлектриков образуются дополнительные электронные уровни захвата (ловушки) в запрещенной зоне, локализующиеся преимущественно на границах пор. При этом уменьшается величина оптической щели Тауца, изменяется электропроводность пленок, их диэлектрическая проницаемость и показатель преломления.
- показано, что в пористых оксидных пленках происходит 2х-кратное снижение механических напряжений, что в свою очередь увеличивает адгезию пленок к основе и снижает вероятность их растрескивания при эксплуатации.

Таким образом, изучение материалов диссертации Сахарова Ю.В. позволяет заключить, что она представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, решающую важную проблему создания в вакууме методом магнетронного напыления нового класса тонких

пористых оксидных плёнок и комплексного изучения их электрических, оптических и механических свойств, что открывает широкие возможности их эффективного использования во многих областях науки и техники.

Следует отметить, что при интерпретации результатов экспериментальных исследований и обосновании механизмов наблюдаемых эффектов, диссертант грамотно использует теоретические оценки и численные расчеты, что безусловно можно поставить ему в заслугу. При изучении свойств создаваемых пористых структур диссертант использовал традиционные, хорошо зарекомендовавшие себя методы электрических, оптических электронно-микроскопических, механических, спектроскопических измерений, поэтому приводимые результаты и выводы представляются обоснованными, подтверждаются соответствием экспериментальных данных теоретическим представлениям и численным расчетам.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно изложены в статьях, опубликованных в журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК для представления результатов по материалам диссертаций, докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях. Автореферат хорошо отражает содержание диссертации.

Следует особо подчеркнуть, что диссертант не ограничился лишь созданием и изучением свойств сформированных пористых структур, но и предложил их конкретные применения. Им созданы эффективные как дискретные, так и матричные МДМ-катоды, датчики влажности и углеводородов, просветляющее покрытие, шаблоны для мелкопористых мембран, структуры для перспективных матричных мемристоров и рентгеновские волноводы. Большая часть внедренных разработок имеют акты об их использовании как в научных учреждениях, так и на предприятиях реального сектора экономики.

Можно отметить и некоторые недостатки работы:

1. На странице 45 диссертации написано: «Для исключения влияния высокотемпературной плазмы была разработана магнитная отклоняющая система, позволяющая отвести плазму от подложки». Термин «высокотемпературная плазма» применен некорректно, т.к. общепринято к высокотемпературной плазме относить практически полностью ионизованную плазму, заряженные частицы которой обладают энергией больше 1 кэВ, что соответствует температуре

> 10^7 °К. В магнетронном разряде синтезируется низкотемпературная газоразрядная плазма с температурой несколько электрон-вольт.

2. При описании механизма образования пористой структуры на странице 65 диссертации сказано: «Сам же углерод в объеме диэлектрика отсутствует, так как улетучивается в процессе протекания химической реакции с кислородом, приводя к разрыхлению плёнки и формированию развитой самоорганизующейся пористой структуры. При этом уровень разрыхления определяется интенсивностью протекания химической реакции, а, следовательно, количеством вводимого углерода». На стр. 237 эта мысль подтверждается фразой: «Основным механизмом образования пор является протекание химической реакции углерода с кислородом непосредственно на подложке, приводящей к образованию летучих соединений, способствующих разрыхлению и формированию изолированных полостей. Сам углерод при этом отсутствует, что подтверждается результатами структурного анализа, описанными в главе 2». Однако конкретных доказательств предложенного механизма образования пор в диссертации не приводится. Известно, что реакция окисления углерода начинается при температурах выше 300°C , в то время как в экспериментах автора диссертации подложка оставалась при комнатной температуре и практически не подвергалась воздействию плазменного потока, который отводился отклоняющей магнитной системой, так что реакция окисления углерода на подложке маловероятна. Могут быть и альтернативные механизмы образования пористой структуры, однако автор их не приводит и не обсуждает.
3. При описании процесса электрической формовки МДМ-структур на стр. 179 сказано: «Процесс развивается довольно стремительно и заканчивается взрывообразным отрывом верхнего электрода в локальных местах». Употребляемый автором термин «довольно стремительно», на мой взгляд, ненаучный, не отражающий развитие процесса во времени.

Указанные недостатки не затрагивают положений и выводов диссертации и не снижают научную и практическую ценность работы.

В целом считаю, что по актуальности и новизне полученных результатов их фундаментальной и прикладной значимости, объему проведённых исследований и степени их завершенности, представленная к защите диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к докторским диссертациям, а её автор Сахаров Юрий Владимирович, заслуживает искомой степени доктора технических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), д.т.н. по специальности 05.27.02 – вакуумная и плазменная электроника, профессор по кафедре физики плазмы



Николай Николаевич Коваль

Адрес: 634055, г. Томск,

пр. Академический 2/3.

Тел.: (3822)492792, e-mail: koval@hcei.tsc.ru

На обработку персональных данных
согласен



Коваль Н.Н.

Подпись Н.Н. Коваля удостоверяю:

Ученый секретарь ИСЭ СО РАН, д.ф.-м.н.,



Игорь Валерьевич Пегель.

