

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Егорова Григория Петровича **«Механические напряжения в металлических пленках при магнетронном осаждении»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Производство тонкопленочных покрытий с контролируемыми свойствами, в частности, с заданным уровнем механических напряжений, для предотвращения преждевременного выхода из строя изделий на их основе – является сложной и трудоемкой, как в научном плане, так и техническом исполнении, задачей, требующей учета многочисленных факторов, влияющих на процесс роста тонких пленок. В соответствие с этим диссертационная работа Егорова Григория Петровича, целью которой являлось определение моделей формирования напряжений в металлических пленках во время их осаждения в вакууме и определение уровня критических напряжений в пленке, приводящих к отслоению пленки от подложки, является актуальной и своевременной.

Для решения поставленной задачи автору потребовалось провести обзор научной информации в отечественных и зарубежных источниках, чтобы оценить уровень разработок по теме исследования и определить наиболее эффективные пути достижения поставленной цели. Для определения модельных представлений (физической природы) о формировании напряжений на различных стадиях роста пленок автор разработал экспериментальную установку со специальной атомарно-диспергирующей системой – магнетронной распылительной системой с дополнительным разрядом, позволяющей проводить осаждение металлических пленок в высоком вакууме, а также методику и устройство, позволяющие проводить измерения напряжений в тонких пленках “in-situ” во время их осаждения в вакууме и определять уровень критических напряжений.

На основании выполненных экспериментальных исследований Егоров Г.П. выявил две основные причины возникновения напряжений: на начальных стадиях: в случае отсутствия химического взаимодействия атомов пленки и подложки – модель поверхностного натяжения пленка/подложка (островковая модель); при наличии химического взаимодействия – образование химического соединения; на стадиях формирования сплошной пленки: поверхностная несовместимость собственных деформаций по границам зерен. Так же к результатам, обладающим научной новизной, следует отнести неизвестные ранее закономерности формирования напряжений в пленках Ta, Al, Ag в процессе осаждения на медную подложку.



Результаты, полученные в диссертационной работе Егорова Г.П., хорошо освещены в научной периодике, прошли апробацию на представительных международных конференциях, симпозиумах, школах и семинарах.

Замечания по автореферату:

1. На стр. 18 автореферата сказано: «Для всех материалов обнаружено, что размер зерна, образуемого при осаждении на медную подложку, больше размера зерна на стеклянной подложке (см. Рис. 10)» - следовало бы пояснить, что автор понимает под термином «зерно», т.к. приведенная на рис. 10 структура не соответствует общепринятому в материаловедении понятию «зерно».
2. На стр. 21 автореферата сказано: «На основании анализа полученных экспериментальных данных (Таблица 5), а также распределения напряжений в системе «пленка-подложка» (Рис. 9) предложен механизм развития отслоения пленки,....» - следовало бы пояснить, проводилась ли автором экспериментальная проверка реализации данного сценария отслоения пленки.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки работы, которая выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Полученные в диссертационной работе Егорова Г.П. результаты имеют несомненную научную и практическую значимость.

Считаю, что диссертационная работа Егорова Г.П. соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» и является законченной научно-квалификационной работой. Данная работа соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния». Автор работы Егоров Г.П. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник лаборатории  
плазменной эмиссионной электроники  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института сильноточной  
электроники Сибирского отделения Российской  
академии наук (ИСЭ СО РАН),

д.ф.-м.н. (шифр специальности 01.04.07 –

физика конденсированного состояния), доцент

03.12.2018 г.

Ю.Ф. Иванов

Подпись Иванова Ю.Ф. удостоверяю:

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



И.В. Пегель

Сведения о составителе отзыва:

Иванов Юрий Фёдорович, д.ф.-м.н., доцент. Главный научный сотрудник лаборатории плазменной эмиссионной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН) 634055, г. Томск, пр-т Академический, 2/3, ИСЭ СО РАН, тел.: 8(3822) 491713, E-mail: [yufi55@mail.ru](mailto:yufi55@mail.ru).

На обработку персональных данных согласен.