

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Богуш Натальи Валерьевны на тему  
"ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СЕРЕБРО-  
ВОЛЬФРАМ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ",  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства  
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Композиционные покрытия на основе благородных металлов и способы их формирования весьма перспективны при создании современных высоконадежных радиоэлектронных изделий, обладающих необходимыми физико-химическими свойствами, на подложках сложной геометрии.

Автором работы Богуш Н.В. предложены новые электролиты и разработаны режимы формирования (осаждения) покрытий серебро-вольфрам (Ag/W) с использованием сульфатно-аммониевых комплексов, водных растворов солей нитрата серебра и вольфрамата натрия, импульсных высокочастотных токов и внешнего ультразвукового воздействия.

Экспериментально установлены особенности электрохимического процесса получения покрытий серебра и вольфрама, закономерности изменения их свойств от условий осаждения и последующей термообработки, процессов, протекающих на поверхности катода и в растворе, а также специфику структуры и электрофизических свойств сформированных покрытий:

- показано, что включение вольфрама в структуру осажденного покрытия серебро-вольфрам, путем восстановления металлического вольфрама на катоде из ионов  $WO_x^{2-}$ , а также адсорбция его оксидов на поверхности серебра. Это экспериментально подтверждено повышением катодной поляризации при изменении стационарного потенциала и зависимостью содержания вольфрама в покрытии от его концентрации в растворе, а также результатами исследования выхода по току;

- установлено, что с увеличением плотности тока и концентрации вольфрамата натрия в электролите повышается перенапряжение катода (от 0,235 до 0,462 В), что приводит к росту скорости зародышеобразования и уменьшению радиуса зародыша до 3 раз и, соответственно, формированию более плотного и устойчивого к внешним воздействиям покрытия;

- использование при осаждении импульсного тока с плотностью до  $10 \text{ А/дм}^2$ , частотой до 1000 Гц и длительностью импульса и паузы от 0,1 до 100 мс, а также внешнего ультразвукового воздействия с частотой 38 кГц позволяет варьировать размер зерен (от 0,7 до 2,0 мкм) и содержание вольфрама в покрытии (от 0,70 до 3,05 мас.%). При этом покрытия серебро-вольфрам характеризуются повышенной в 1,5-2 раза микротвердостью и увеличенной до 7 раз износостойкостью по сравнению с серебряными покрытиями, осажденными из сульфатно-аммониевого электролита в режиме постоянного тока;

- отжиг покрытий серебро-вольфрам (в вакууме при температуре 300°C) приводит к уменьшению их удельного сопротивления примерно в два раза и возможности формирования покрытия с контактным электросопротивлением 1,7–3,1 мОм (сравнимо с электросопротивлением серебряного покрытия без вольфрама 1,8 мОм).

Особый интерес представляет изучение структуры и электрических свойств тонких пленок серебра с вольфрамом и разработанная модель, учитывая особенности электрохимических процессов на поверхности электрода и в диффузионных слоях.

Автором предложены разработанные покрытия, перспективные для создания проводящих и защитных слоев СВЧ устройств, электрических контактов с высокой токовой нагрузкой.

Замечания по автореферату:

- несколько неточно сформулирована цель работы, включающая в себя задачи и практическую значимость;
- не приведены результаты кинетических закономерностей протекания отдельных стадий процесса формирования покрытий Ag/W (стр. 4).

Предложения:

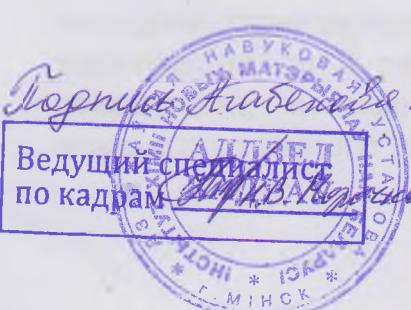
- не приведены данные о толщине сформированных покрытий.
- как объясняется различие в размерах «зерен» в сформированном мелкокристаллическом и крупнокристаллическом покрытии от 0,7 до 2,0 мкм при использовании импульсного и постоянного тока (стр.15) и уменьшение размера зерен от 1,5 до 0,8 мкм при использовании ультразвука (стр.16).

В целом, как можно судить по автореферату, диссертационная работа представляет значимый научный и практический интерес. Материалы работы опубликованы в научных изданиях, внедрены на практике. По объему исследований, уровню полученных результатов работа соответствует требованиям ВАК РБ к кандидатским диссертациям, а ее автор – Богуш Наталья Валерьевна – несомненно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

Зав.отделом физико-химии  
тонкопленочных материалов  
ИХНМ НАН Беларуси,  
Академик, д-р хим. наук, профессор

*Н.А.Богуш* В.Е. Агабеков

Не возражаю против публикации отзыва в открытой печати.



*Н.А.Богуш* Н.В. Богуш

Совет по защите  
диссертаций при БГУИР  
«02.12.25 г.  
Вх. № 05.02-11/59