

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Назаренко Марии Владимировны на тему «Осаждение плёнок металлов методом ионного распыления в магнетронных системах в парах мишени для миниатюрных термоэлектрических модулей», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3. - «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Стремление специалистов к улучшению характеристик миниатюрных термоэлектрических модулей (микро-ТЭМ) заставляет их искать пути оптимизации конструкции и технологии изготовления таких модулей.

До настоящего времени модули ТЭМ собирают с повышенной температурой сборки (распайки), при этом наблюдается повышенная пиковая тепловая нагрузка, например, связанная с герметизацией металлокерамических корпусов, внутри которых установлен микро –ТЭМ, методом лазерной сварки. Эта проблема решается использованием при сборке модуля припоя Au-Ge с температурой плавления 390°C . В свою очередь это требует в процессе пайки нагрев микро-ТЭМ до температуры выше 400°C . При такой температуре происходит активный выход лигатуры и запускаются диффузионные процессы в термоэлектрическом материале. В результате этого, свойства указанного материала, деградируют, что приводит к снижению добротности, а также изменению сопротивления модуля. Поэтому актуальным направлением развития конструкции и технологии микро-ТЭМ является снижение температуры распайки до 350°C . Для решения этой проблемы, в данной работе предложено использование технологии диффузионной пайки, заключающейся в «перемешивании» послойно нанесённой структуры толстых слоёв материалов, например, меди и олова, при котором происходит смещение состава «спая».

В диссертационной работе поставлена цель разработки научных и технологических основ формирования толстых слоёв различных по своим физиче-

ским свойствам металлов методом ионного распыления в магнетронных системах в парах мишени для серийного производства миниатюрных термоэлектрических модулей с повышенными характеристиками.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. Впервые проведена классификация материалов в зависимости от их физических свойств (температуры плавления и давления насыщенных паров), и описаны особенности соответствующих им технологических процессов осаждения методом ионного распыления в магнетронных системах в парах мишени (жидкофазного магнетронного распыления).
2. Впервые исследованы свойства плёнок металлов Cu, Sn, Ti, относящихся к каждой группе материалов, осаждённых методом жидкофазного магнетронного распыления (ЖФМР).
3. Впервые методом ЖФМР получены плёнки двухкомпонентного сплава на примере Cu-Sn и исследованы его свойства.
4. Впервые разработаны технологические процессы беспастовой и диффузионной пайки с применением слоёв, сформированных методом ЖФМР для изготовления микро -ТЭМ.

При выполнении работы для исследования состава, структуры и толщины плёнок использованы методы рентгенофлуоресцентного анализа, ОЖЕ-спектроскопии, растровой электронной микроскопии, оптической микроскопии.

Результаты работы целесообразно использовать при исследовании и разработке процессов осаждения плёнок методом ЖФМР, а также при разработке технологических процессов изготовления и сборки миниатюрных электронных компонентов.

В работе получены следующие основные результаты и сделаны выводы:

1. Анализ существующих скоростных методов осаждения и их сравнение с методом ЖФМР показал, что метод ЖФМР с теоретической точки зрения

перспективен для скоростного осаждения плёнок металлов с толщинами от единиц до десятков микрон. В отличие от производственных методов ЖФМР наиболее универсален с точки зрения осаждаемых материалов, а в отличие от скоростных методов обладает совокупностью положительных свойств: высокой чистотой покрытия и адгезии, высокими скоростями осаждения, а также отсутствием капельной фазы.

2. В результате анализа особенностей метода и физических свойств материалов установлено, что материалы для осаждения методом ЖФМР можно классифицировать на три группы: группа 1-при температуре плавления достигается давление насыщенных паров менее, чем 10^{-2} Па, группа 2-при температуре плавления достигается давление насыщенных паров примерно 10^{-2} Па, группа 3-при температуре плавления достигается давление насыщенных паров более, чем 10^{-2} Па.

3. Проведённый тепловой расчёт показывает, что пиковая температура на подложке в процессе осаждения меди может достигать 400°C , что не приведёт к расплавлению осаждаемого медного покрытия при любой длительности процесса, а при осаждении плёнки олова температура её плавления в $230,5^{\circ}\text{C}$ достигается уже через 50 сек после начала процесса.

4. Изучение проблематики метода для материалов трёх групп показало, что ключевыми проблемами для использования в производстве являются: невозможность скоростей осаждения, вкрапления в осажденную плёнку материала тигля, оплавления осаждаемых плёнок, увеличение поверхностных дефектов осаждаемых плёнок (набросы, впадины, трещины). При этом все эти проблемы могут быть устранены при использовании сформулированных в работе рекомендаций.

5. В результате экспериментов установлено, что максимально достигнутая скорость осаждения на неподвижную подложку для меди составляет 36

мкм/мин при мощности 1,8 кВт, однако процесс при этом нестабилен. При оптимальной мощности процесса 1,6 кВт скорость осаждения составляет 20 мкм/мин, что коррелирует с полученными расчётами. При осаждении олова оптимальная мощность составила 1,2 кВт в режиме самораспыления, при этом скорость осаждения составила 12 мкм/мин, что меньше теоретически рассчитанного значения, так как увеличение скорости осаждения олова ограничивается тепловым воздействием на подложку и плавлением осаждаемой плёнки. При осаждении титана в режиме с частичным добавлением рабочего газа увеличивает скорость осаждения в 22 раза по сравнению с классическим магнетронным распылением и составляет 6 мкм/мин на неподвижную подложку. Скорость осаждения титана в режиме самораспыления составляет 8 мкм/мин, что коррелирует с расчётным значением.

6. Для увеличения теплоотвода в процессе осаждения материалов 1 группы рекомендуется использовать массивную оснастку для крепления подложек, при этом для подложек из хрупких материалов, например, теллурида висмута, рекомендуются предусматривать прижимы-лепестки и увеличивать радиальные зазоры для предотвращения растрескивания материала.

7. Проведённые исследования плёнок меди, олова и титана удовлетворяют требованиям для их использования в качестве проводящих, припойных и маскирующих слоёв в микро-ТЭМ, что позволяет рекомендовать метод ЖФМР в качестве единого метода при их формировании в технологическом процессе производства микро-ТЭМ.

8. Экспериментально подтверждена возможность осаждения сплавов на примере двухкомпонентного сплава Sn-Cu. При этом при загрузке компонентов в соотношении 1:1 по массе полученная плёнка состоит из 42% Cu и 58% Sn, что коррелирует с расчётными значениями, равномерность состава по подложке не превышает 2%.

9. На основании разработанных процессов осаждения толстых плёнок методом ЖФМР разработаны новые технологии производства микро-ТЭМ: бесприпойная сборка миниатюрного термоэлектрического модуля с габаритами: 0,8x0,8x1,0 мм, высотой ветви 0,25 мм и сечением ветви 0,15x0,15 мм² и технология диффузионной пайки, которая позволила создать микро-ТЭМ с повышенной температурой распайки (более 350⁰С), которая обладает мировой новизной, что подтверждается получением патента РФ на изобретение и создать новый модельный ряд устройств для компании ООО «РМТ».

Достоверность полученных результатов диссертационных исследований обеспечивается использованием современного аналитического и измерительного оборудования, анализом и учётом возможных источников погрешностей, и статистической обработки результатов измерений. Полученные результаты применены в технологическом процессе изготовления конечного устройства – микро-ТЭМ, которое успешно выдержало квалификационные испытания согласно международным стандартам TELCORDIA GR-468-CORE и MIL-STD-883F.

Материалы диссертации достаточно полно представлены публикациями в изданиях, рекомендованных ВАК и других.

По материалам реферата можно сделать следующие замечания:

Обнаружены опечатки:

- 1) На стр.10 (2-я строчка сверху пропущена буква «и» (после «..так» и...).
- 2) На стр.15, 11-я строчка снизу напечатано дважды «что» что».
- 3) На стр.21, 3-я строчка сверху (Пропущена буква «ц» в слове «образцы»).
- 4) На стр.20, 9-строчка сверху, « .. в пленках (указано лишнее слово «плёнки»)меди..».

Обнаруженные неточности формулировок:

1) На стр.7, (9-я строчка сверху) «с «повышенными» характеристиками», на стр.8(2-я строчка сверху), «повышенными «характеристиками, такими как уменьшенные геометрические размеры». Считаю, более точной формулировку «улучшенными» характеристиками.

2) На стр.8(4-я строчка) «... подтвердить их соответствие качеству», более точно «..подтвердить их соответствие требованиям изложенным в технической документации (или технических условиях)».

Однако, сделанные замечания не снижают общей высоко научной и практической значимости работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в положении о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 4.09.2013г.

В целом, судя по автореферату и опубликованным работам, диссертация является законченным научным исследованием, выполнена на высоком научном и методическом уровне, полностью соответствует выбранной специальности 2.2.3. «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники», является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям п.9 Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемых ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор Назаренко М.В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв составили:

Зам. директора по технологическому развитию
АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»,



В.М. Малыщик

Адрес: Россия, 141190, Московская область,
г. Фрязино, ул. Вокзальная, д.2а
E-mail vmmalyshchik@istokmw.ru

тел.+7(916) 990-38-04

E-mail

Начальник лаборатории отдела качества

АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»,

доктор технических наук, доцент

Адрес: Россия, 141190, Московская область,

г. Фрязино, ул. Вокзальная, д.2а

E-mail: teh.buro208@gmail.com, тел.: +7(909)630-76-27.



В.А. Иовдальский

Подписи Малыщика В.М. и Иовдальского В.А. заверяю:

Учёный секретарь диссертационного совета Д409.01.01

при АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»,

к.т.н., доцент

Адрес: Россия, 141190, Московская область,

г. Фрязино, ул. Вокзальная, д.2а

E-mail: info@istokmw.ru, тел.: +7 (495) 465-86-66



И.В. Куликова