

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Пеньялоса Овальес Дейвис Исаиас

«Композиционные материалы на основе оксидов алюминия и железа для защиты СВЧ устройств от электромагнитного излучения»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

### **1. Соответствие содержания диссертации специальности и отрасли науки, по которой она представлена к защите**

Целью диссертационной работы Пеньялоса Овальес Дейвис Исаиас является создание радиопоглощающих композиционных материалов и электромагнитных экранов на их основе, предназначенных для защиты приборов электронной техники от электромагнитного излучения (ЭМИ). В качестве объектов исследований выбраны порошкообразные оксиды на основе алюминия и железа в связи с тем, что такие материалы являются природными минералами и характеризуются невысокой стоимостью.

В работе исследовались закономерности изменения коэффициентов передачи и отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7 – 17,0 ГГц новыми электромагнитными экранами из композиционных материалов на основе порошкообразных алюмооксидов (электрокорунд, глинозем) с добавками воды и водных растворов солей ( $\text{CaCl}_2$ ) порошкообразного оксида железа, ферритов, а также с использованием разработанных композиционных покрытий и способа модификации их состава.

Полученные научные и практические результаты диссертации Пеньялоса О.Д.И. соответствуют отрасли науки – технические и специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники (в соответствии с формулой специальности, включающей разработку научных основ создания новых перспективных материалов для твердотельной электроники, нелинейной оптики, квантовой электроники, оптоэлектроники, радиотехники, техники СВЧ и других отраслей экономики республики), пунктам паспорта специальности: III.5 (исследование взаимодействия материалов, пленок и гетероструктур с электромагнитным излучением), III.14 (технология производства оборудования для изготовления полупроводников, материалов, приборов и компонентов электронной техники).

### **2. Актуальность темы диссертации**

Основным направлением в области создания электромагнитных экранов

является разработка и применение новых радиопоглощающих материалов, покрытий и изделий на их основе, эффективно ослабляющих и поглощающих электромагнитные излучения в СВЧ – диапазоне ( $10^9 - 5 \cdot 10^{11}$  Гц). Для этого часто применяются композиционные, в том числе многослойные структуры с проводящими наполнителями в виде тонких и толстых пленок, фольг, волокон и/или порошков, которые представляют собой гетерогенные радиопоглощающие среды и характеризуются низкими значениями коэффициентов передачи и отражения ЭМИ.

В этой связи исследования, направленные на создание радиопоглощающих композиционных материалов и электромагнитных экранов на их основе, предназначенных для защиты приборов электронной техники от ЭМИ, и которым посвящена диссертационная работа Пеньялоса О.Д.И., являются актуальной.

### **3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту**

Основные результаты и научные положения диссертации являются новыми и полученными автором впервые. Наиболее значимые из них:

1. Экспериментально установлены закономерности изменения характеристик отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц порошкообразных алюмооксидов (электрокорунд, глинозем на основе  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), пропитанных водой или водными растворами солей ( $\text{CaCl}_2$ ). Показано, что добавление в состав порошкообразных алюмооксидов воды или водного раствора обеспечивает снижение на 2,0–5,0 дБ значений их коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 12,0–17,0 ГГц и снижение на 1,0–4,0 дБ значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазонах частот 6,0–9,5 ГГц и 12,5–17,0 ГГц, что объясняется увеличением удельной электропроводности этих материалов.

2. Определены закономерности изменения характеристик отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц композиционных радиопоглощающих материалов на основе ферритов при добавлении в их состав порошкообразных алюмооксидов (соотношение алюмооксиды/ферриты – 30 об.% / 20 об.%). Установлено, что при добавлении алюмооксидов в такой композиционный материал можно обеспечить снижение на 2–7 дБ значений их коэффициента отражения ЭМИ в диапазонах частот 0,7–2 ГГц, 8–11 ГГц (при условии их закрепления на металлических подложках), что объясняется снижением волнового сопротивления такого материала. Преимуществом таких экранов по сравнению с экранами, изготовленными только из порошкообразных ферритов, является уменьшение массы электромагнитного экрана в 1,5 раза на единицу площади.

3. Экспериментально установлены закономерности изменения характеристик отражения и передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц композиционных радиопоглощающих материалов и покрытий на основе порошкообразных алюмооксидов при добавлении в их состав порошкообразного оксида железа. Показано, что при добавлении до 20 об.% порошкообразного оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) за счет явления естественного ферромагнитного резонанса, связанного с магнитными свойствами порошкообразного оксида железа, можно обеспечить снижение на 1,0–8,0 дБ значений коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц, что перспективно для изготовления радиопоглощающих структур, а также для облицовки стен помещений, в которых располагаются приборы электронной техники (ПЭТ), так как обеспечивается защита ПЭТ от электромагнитных помех.

4. По результатам экспериментальных исследований разработан прототип технологических маршрутов получения электромагнитных экранов и композиционных покрытий, которые обеспечивают эффективную защиту приборов электронной техники от электромагнитных помех при низкой стоимости и доступности их составляющих.

#### **4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Полученные в работе научные результаты объективны и являются обоснованными, выводы аргументированы, вытекают из содержания результатов проведенных исследований и сконцентрированы в научных положениях, представленных в диссертации. Достоверность результатов и выводов подтверждена данными, полученными на основе результатов экспериментов, проведенных в соответствии со стандартизированными методиками, и хорошо согласуются с известными результатами других авторов.

#### **5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию**

**Научная значимость** результатов диссертации состоит в установлении новых зависимостей коэффициентов передачи и отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7 – 17,0 ГГц электромагнитными экранами ЭМИ на основе композиционных материалов из порошкообразных алюмооксидов (электрокорунд, глинозем) с добавками воды, водных растворов, ферритов и оксида железа, а также разработанных композиционных покрытий и способа модификации его состава, которые представляются перспективными для

повышения радиопоглощающих свойств электромагнитных экранов в диапазонах частот 2,0 – 5,0 ГГц, 11,0 – 17,0 ГГц и позволяют улучшить их эксплуатационные характеристики.

**Практическая значимость** результатов заключается в том, что разработанные электромагнитные экраны характеризуются низкой стоимостью и доступностью исходных материалов, так как они являются природными минералами. Экраны обеспечивают снижение значений коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения от  $-2,0$  до  $-18,0$  дБ и от  $-10,0$  до  $-30,0$  дБ соответственно, и снижение до 2 раз радиуса контролируемой зоны электромагнитного излучения средств вычислительной техники. Разработанные композиционные покрытия с добавками оксида железа обеспечивают защиту ПЭТ от электромагнитных помех.

**Экономическая значимость** работы заключается в снижении количества возможного выхода из строя ПЭТ при использовании разработанных электромагнитных экранов и связанных с этим ремонтом и заменой отдельных компонентов.

**Социальная значимость** работы состоит в возможности использования полученных результатов в целях повышения безопасности жизнедеятельности людей путем применения экранирующих радиопоглощающих материалов для защиты помещений, персонала и аппаратуры от электромагнитного излучения в широком диапазоне частот и возможности использования в строительстве, медицине, аэрокосмической сфере, электронике, энергетике и др.

#### **6. Полнота опубликования основных положений, результатов диссертации в научной печати**

Результаты диссертационных исследований, изложенные в диссертации и автореферате, положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в публикациях. По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, из которых 3 статьи в журналах из Перечня ВАК и в иностранных научных изданиях, 5 статей в других рецензируемых научных изданиях, 2 статьи в сборнике материалов конференций, 3 тезиса докладов. Получен патент Республики Беларусь на полезную модель.

#### **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации, утвержденной Постановлением ВАК от 28 февраля 2014 г. № 3.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы, включает выводы и положения, которые выносятся на защиту.

## **8. Соответствие научной квалификации соискателя учёной степени, на которую он претендует**

Качество изложения материала диссертации, логичность сделанных в работе выводов, высокий научный уровень публикаций, в которых содержатся основные результаты диссертационной работы, применение различных современных методик исследования свидетельствуют о высоком уровне научной квалификации автора Пеньялоса О.Д.И., которая, несомненно, соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

## **9. Недостатки диссертационной работы**

В качестве недостатков в работе необходимо отметить следующее.

1. В защищаемых положениях не упоминается о немаловажном свойстве некоторых вариантов разработанных экранов – «трудновоспламеняемость». Подтверждение этому содержится в результатах испытаний, изложенных в параграфах 4.1 и 4.2. В заключении отсутствует ссылка на публикацию 11-А.

2. В наименовании раздела 2.5 фигурирует термин "радиус контролируемой зоны электромагнитного излучения", хотя в тексте указанного раздела этот термин не встречается, а встречаются термины "дальность распространения электромагнитного излучения", "радиус распространения электромагнитного излучения". Требуется уточнить, который из трех указанных терминов является более предпочтительным применительно к направлению исследований диссертационной работы.

3. На рисунке 3.6 граничное значение шкалы горизонтальной оси 16,0 ГГц, хотя из подписи к этому рисунку следует, что на нем представлена частотная характеристика в диапазоне от 2,0 до 17,0 ГГц.

4. На стр. 74, 75 указано, что порошкообразный древесный уголь характеризуется невысокой насыпной плотностью и высокой пористостью, при этом не указаны числовые значения этих параметров.

5. В тексте подраздела 3.3.4 не уточнено, какой фольгированный материал использовался для изготовления образцов, результаты исследования которых представлены в указанном подразделе.

6. Трудно читаемые подписи мелким шрифтом на рис. 1.10, 1.17, 2.5, 3.10, 3.13.

Указанные замечания не относятся к принципиальным и не снижают высокой научной и практической значимости диссертации.

## 10. Заключение

Диссертационная работа Пеньялоса Овальес Дейвис Исаиас на тему «Композиционные материалы на основе оксидов алюминия и железа для защиты СВЧ устройств от электромагнитного излучения», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, является научной работой, самостоятельно подготовленной соискателем. Ее содержание соответствует специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в области технических наук.

В соответствии с требованиями п. 21 Положения ВАК Беларуси «О присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий» Пеньялоса Овальес Дейвис Исаиас заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук за получение новых научно-обоснованных экспериментальных результатов в области создания электромагнитных экранов для защиты СВЧ устройств и приборов электронной техники, включающих:

1. Экспериментально установленные закономерности изменения характеристик отражения и передачи электромагнитного излучения композиционных материалов на основе порошкообразных алюмооксидов, пропитанных водой или водными растворами электролитов ( $\text{CaCl}_2$ ), на основе которых впервые разработаны маршруты технологических процессов изготовления электромагнитных экранов из данных материалов, обеспечивающих снижение на 2,0 – 5,0 дБ коэффициента передачи в диапазоне частот 12,0 – 17,0 ГГц и снижение на 1,0 – 4,0 дБ коэффициента отражения в диапазонах частот 6,0 – 9,5 ГГц и 12,5 – 17,0 ГГц, а также снижение коэффициента отражения от -2,0 до -18,0 дБ в диапазоне частот 0,7 – 17,0 ГГц при условии закрепления таких экранов на металлических подложках, что позволяет использовать их для защиты помещений, используемых для настройки или тестирования СВЧ устройств.

2. Установленные зависимости изменения характеристик отражения и передачи электромагнитного излучения композиционных материалов на основе железо-бариевых ферритов при добавлении в их состав порошкообразных алюмооксидов (соотношение алюмооксид : ферриты – 30 об.% : 20 об.%), с использованием которых разработаны маршруты технологических процессов получения электромагнитных экранов, характеризующихся по сравнению с электромагнитными экранами из железо-бариевых ферритов пониженными не более, чем на 10,0 дБ значениями коэффициентов отражения и передачи в диапазоне частот 0,7 – 17,0 ГГц, а также в 1,5 раза более низкой массой на единицу площади, что позволяет использовать такие экраны для обеспечения электромагнитной совместимости СВЧ устройств.

3. Разработанные электромагнитные экраны на основе композиционных

материалов и покрытий, содержащих порошкообразные алюмооксиды и модифицирующие состав таких материалов и покрытий компоненты (порошкообразный оксид железа), характеризующиеся снижением коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения от -2,0 до -18,0 дБ и от -10,0 до -30,0 дБ соответственно и обеспечивающие за счет этого снижение до 2 раз дальности распространения электромагнитного излучения СВЧ устройств в воздушной среде.

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий лабораторией «Микро- и  
наносенсорика» ГНПО «Оптика,  
оптоэлектроника и лазерная техника»  
Национальной академии наук Беларуси



Н.И. Мухуров



Совет по защите  
диссертаций при БГУИР  
«25» мая 2023 г.  
Вх. № 0502-11/97