

Акционерное общество
«Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»



Акционерное общество
**«Государственное научно-
производственное предприятие «Регион»**
(АО «ГНПП «Регион»)

Каширское шоссе, д. 13 А,
г. Москва, Россия, 115230
Тел.: +7 (495) 741-55-44, факс: +7 (495) 741-55-55;
E-mail: gnppregion@sovintel.ru
ОКПО 11494873 ОГРН 1057747873875
ИНН/КПП 7724552070/774550001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «ГНПП «Регион»
кандидат технических наук



Крылов И.В.

«30» ноября 2022 г.

_____ № _____
на № _____ от _____

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Полозова Виктора Ивановича «Тонкие плёнки оксидов ванадия для электродинамических приложений», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.3.13 – Электрофизика, электрофизические установки

В настоящее время происходит повсеместное внедрение устройств, способных автоматически собирать информацию, обмениваться ей между собой и реагировать на неё. Соответственно, важными направлениями развития электроники становятся разработка сенсоров, систем управления электромагнитным излучением для устройств связи, и актюаторов на основе умных материалов - материалов, свойства которых контролируемо, заметно и обратимо меняются под внешними воздействиями.

Одним из таких материалов, перспективных с точки зрения практического применения, является диоксид ванадия (VO_2). Тонкие плёнки VO_2 обладают обратимым фазовым переходом I рода полупроводник-металл (ППМ), при котором сопротивление материала меняется на 2 - 5 порядков. ППМ происходит при нагреве до $\sim 68^\circ C$ - это наиболее близкая к комнатной температура по сравнению с другими веществами с ППМ, что значительно расширяет диапазон возможных приложений VO_2 в управляемых устройствах СВЧ электроники.

Для применения в таких устройствах, плёнки VO_2 должны иметь точно заданное поверхностное сопротивление.

Одним из методов, обеспечивающих данное требование является магнетронное распыление. Этот метод обеспечивает нанесение однородных плёнок большой площади и позволяет проводить дополнительную энергетическую обработку растущей плёнки путём её нагрева, ионной обработки и перераспыления для оптимизации структуры, что может быть использовано для управления внутренними напряжениями в плёнке. Таким образом, актуальной является задача изучения взаимосвязи между параметрами процесса роста и результирующими составом и структурой плёнок оксидов ванадия при магнетронном распылении металлического ванадия в реактивной атмосфере с осаждением на поликристаллические подложки большой площади.

Работа Полозова В.И. направлена на разработку технологических процессов формирования тонких плёнок VO_x на поликристаллических подложках при помощи магнетронного распыления в вакууме.

Анализ содержания автореферата позволяет сделать вывод, что соискателем проведено последовательное решение целого ряда взаимосвязанных научно-технических задач, направленных на достижение сформулированной цели работы.

К новым научным результатам можно отнести следующее:

1. Способ применения плёнок VO_2 в качестве активных элементов управляемых экранов для сантиметрового диапазона длин волн с коэффициентом прохождения (КП), изменяющимся на 9 дБ. Управление КП достигается нагревом, который вызывает ППМ в VO_2 . Амплитуда изменения КП может быть увеличена до 13 дБ при уменьшении широкополосности управляемых частотно-селективных поверхностей.

2. Способ применения плёнок VO_2 в микрополосковых устройствах, в частности, в СВЧ переключателе, обеспечивающем изменение коэффициента прохождения на частотах до 5 ГГц на величину не менее 20 дБ при ППМ.

3. Метод нанесения тонких плёнок VO_2 с заданными электрофизическими параметрами на поликристаллические подложки. Метод основан на применении высокочастотного реактивного магнетронного распыления с последующей термообработкой. Контраст изменения сопротивления при ППМ аналогичен значению, известному для плёнок VO_2 , получаемых при эпитаксиальном росте. Тонкие плёнки VO_2 обладают ППМ с отношением сопротивлений при 30 °С и 80 °С до 10^4 раз и абсолютными значениями поверхностного сопротивления в

соответственно.

4. Технологический подход, позволяющий получать плёнки VO_2 с поверхностным сопротивлением в металлическом состоянии в диапазоне 100 - 300 Ом/кв при амплитуде ППМ в диапазоне 100 - 1000 раз на диэлектрических подложках площадью до 30 см². Это позволяет использовать полученные плёнки в качестве экранов СВЧ диапазона с управляемым коэффициентом прохождения, изменяющимся при ППМ на 10 дБ, или активных элементов управляемой частотно-селективной поверхности, что позволяет увеличить амплитуду изменения КП при ППМ до 13 дБ.

5. Технологический подход, позволяющий с применением фотолитографии и жидкостного травления формировать на поверхности плёнки VO_2 металлические структуры. Разработанный подход использован для формирования микрополоскового волновода с интегрированным элементом VO_2 . Полученная структура представляет собой СВЧ переключатель, который при ППМ обеспечивает изменение коэффициента прохождения на частоте до 5 ГГц на величину не менее 20 дБ.

Полученные результаты, несомненно, имеют практическую значимость в части применения в процессе промышленного производства в области разработки управляемых СВЧ элементов электрофизических установок: перестраиваемых планарных фильтров, микрополосковых переключателей, многодиапазонных антенн, управляемых антенных обтекателей для летательных аппаратов различных классов.

Автором выполнена синтетическая часть работы: разработана оснастка для установки магнетронного распыления, спланированы эксперименты по нанесению тонкоплёночных образцов, выполнена их высокотемпературная обработка. Разработан стенд для проведения электрофизических исследований тонких плёнок, включая разработку программа обработки данных на ЭВМ (рег. № 2018614660). Осуществлен анализ результатов исследований образцов. Исследована корреляция между электрофизическими свойствами плёнок, параметрами ППМ в плёнках VO_2 и их структурой. Выполнены разработка, численное моделирование и экспериментальное исследование образцов СВЧ устройств с управляемым частотным откликом.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на научно-технических конференциях, опубликованы в печатных работах, в том числе в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.

Совокупность научных и прикладных результатов диссертации позволяет квалифицировать их как решение научной задачи, имеющей важное значение для повышения обороноспособности Российской Федерации.

Автореферат написан грамотно, стиль изложения доказательный, однако, наряду с выше указанными положительными сторонами, автореферату присущ и ряд недостатков:

1. В автореферате не приведены временные характеристики ППМ в VO_2 , имеющие важное значение для оценки быстродействия перспективных управляемых СВЧ устройств на основе этого материала.

2. На рисунках 10, 12 и 14 некоторые обозначения сделаны на английском языке. При этом в пояснении к рисункам перевод не приводится.

Отмеченные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку диссертационной работы и не затрагивают ее сущности и достоверности полученных результатов.

Проведенные автором изыскания являются законченным научным исследованием, содержащим решение научно-практической задачи, имеющей важное значение для развития систем управления групповым применением беспилотных летательных аппаратов. На основании рассмотрения автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., (ред.07.06.2021г.) а ее автор Полозов В.И. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.13 – Электрофизика, электрофизические установки.

Отзыв подготовил ученый секретарь АО «ГНПП «Регион»

Каширское шоссе, д. 13 А,
г. Москва, Россия, 115230
Тел.: +7 (495) 741-55-44, факс: +7 (495) 741-55-55;
E-mail: gnppregion@sovintel.ru

кандидат технических наук

Копченов Сергей Владимирович

«30» ноября 2022 г.

Отзыв на автореферат обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета АО «ГНПП «Регион» 30 ноября 2022 г., протокол № 14-НТС/2022.

Ученый секретарь
кандидат технических наук

Копченов С.В.

«30» ноября 2022 г.

Подпись ученого секретаря заверяю
Начальник отдела по работе с персоналом

«30» ноября 2022 г.



Кусликов А.С.