

*Иванов Роман Андреевич, магистрант 2 курс, факультет «Радиофизика»*

*КФУ, Физико-технический институт, Россия, Республика Крым,*

*г. Симферополь*

*Морозов Святослав Игоревич, магистрант 2 курс, факультет «Радиофизика»*

*КФУ, Физико-технический институт, Россия, Республика Крым,*

*г. Симферополь*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ МДС С НАНОМЕТРОВЫМ ПРОВОДЯЩИМ ПОКРЫТИЕМ**

**Аннотация:** Статья посвящена исследованию электродинамических свойств твердых металлодиэлектрических структур с нанометровым проводящим покрытием. Проведены сравнительные измерения электродинамических свойств на частотах 3 ГГц, 3,5 ГГц, 4 ГГц, при толщинах 3-7 нм. с диэлектрической подложкой из предметного стекла. Результаты исследований показали способность эффективного взаимодействия металлодиэлектрических структур с электромагнитным СВЧ полем. Так же был проведен анализ полученных экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** металлодиэлектрическая структура, электродинамические свойства, оптические коэффициенты, волновод, нанометровые пленки, электромагнитное поле.

**Annotation:** The article is devoted to the study of the electrodynamic properties of solid metal-dielectric structures with a nanometer conductive coating. Comparative measurements of electrodynamic properties at frequencies of 3 GHz, 3.5 GHz, 4 GHz, at thicknesses of 3-7 nm are carried out. with a dielectric substrate made of slide glass. The results of the research showed the ability of effective interaction of

metal-dielectric structures with a microwave electromagnetic field. The analysis of the obtained experimental data was also carried out.

**Keywords:** metal-dielectric structure, electrodynamic properties, optical coefficients, waveguide, nanometer films, electromagnetic field.

Тонкие проводящие пленки находят широкое применение в полупроводниковой и СВЧ технике, электронике, в научном оборудовании, промышленности, быту и для экранирования электронной аппаратуры. В интегральных микросхемах (ИМС) проводящие пленки используются в качестве пассивных элементов, таких как контактные площадки между активными элементами, конденсаторы и индуктивности. В зависимости от толщины пленок микросхемы подразделяют на тонко- и толстопленочные. К тонкопленочным микросхемам, относят микросхемы толщина пленок, в которых не превышает 1 мкм [1; 2; 3; 5].

Создание электронной аппаратуры, позволяющей решать более сложные технические, научные и производственные задачи приводит к резкому увеличению числа пассивных и активных элементов, входящих в ее состав. Это становится причиной увеличения массы и размеров оборудования, а так же появления проблемы тепловыделения. В связи с этим появилась необходимость миниатюризации электронной аппаратуры.

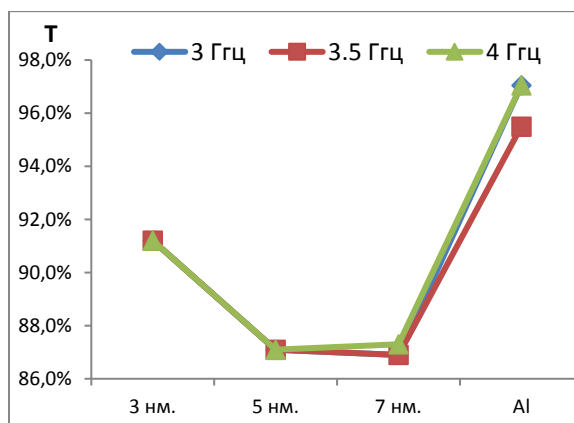
Однако миниатюризация электронной аппаратуры приводит к уменьшению толщин пленок использующихся в ИМС. В масштабах десятков нанометров характерные размеры проводящих пленок сравниваются с некоторыми физическими величинами (например, длина волны электромагнитного излучения, длина свободного пробега электрона). Что предполагает к проявлению неизученных физических эффектов.

Таким образом, изучение электродинамических свойств металлодиэлектрических структур (МДС) с нанометровым проводящим покрытием является актуальным вопросом.

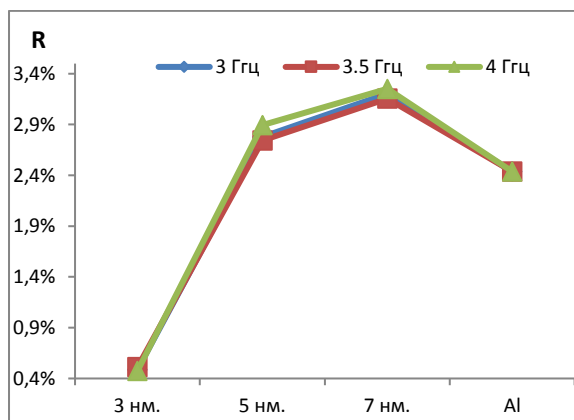
Целью исследования является изучение электродинамических свойств, которые представляют собой оптические коэффициенты прохождения (Т), отражения (R) и поглощения (L).

Объектом исследования являлись металлодиэлектрические структуры на твердых подложках. В качестве подложки использовалось предметное стекло, с нанесенным слоем алюминия.

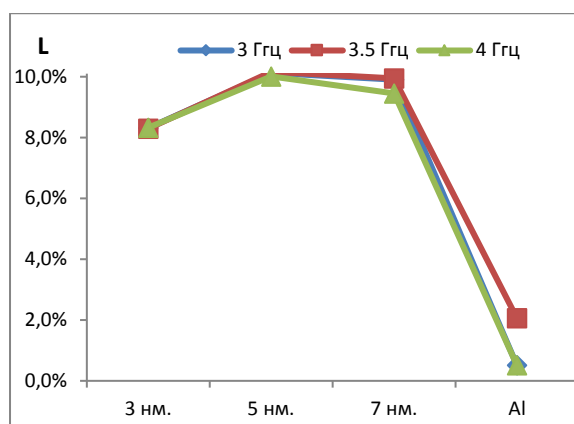
Измерения проводились на частотах 3, 3.5, 4 ГГц, площадь образцов составляла 15×15 мм. Для проведения сравнения результатов так же были проведены измерения тестовой пластинки алюминия с толщиной 1 мм с идентичными МДС геометрическими размерами. МДС были получены методом ионного напыления [2; 4; 6]. Исследуемые образцы устанавливались посередине волновода перпендикулярно его оси.



а)



б)



в)

Рисунок 1. Зависимость от толщины напыления коэффициентов:

а – прохождения; б – отражения; в – поглощения.

Результаты показали (рис. 1) что с увеличением толщины проводящего покрытия растет мощность отраженной волны, при толщинах 5 нм, 7 нм коэффициент отражения  $R$  превышает коэффициент отражения алюминиевой пластинки. При достаточно малой толщине проводящего слоя мощность отраженной волны практически нулевая. Учитывая коэффициенты прохождения и отражения была получена зависимость коэффициента поглощения от толщины проводящего слоя (рис. 1, в). Данная зависимость показала что, при толщинах 5 нм, 7 нм наблюдается высокое поглощение мощности электромагнитной волны по сравнению с образцом пластинки алюминия.

В данной работе приводятся результаты исследований электродинамических свойств металлических пленок на твердых подложках в СВЧ диапазоне. Полученные структуры показали способность эффективно взаимодействовать с электромагнитным полем. При достижении определенной толщины напыления поглощенная и отраженная мощность может иметь аномальный характер и выделяться из стандартной закономерности. Полученные результаты могут быть применены в разработке инновационных тонкопленочных структур, предназначенных для защиты радиоэлектронного оборудования, приборов от электромагнитного излучения.

### Библиографический список:

1. Электромагнитное экранирование: монография / Д. Н. Шапиро – Долгопрудный: Издат. дом «Интеллект», 2010. – 120 с.
2. Быков Ю.А. О некоторых особенностях структуры и свойств металлических тонких плёнок // Ю.А. Быков, С.Д. Карпухин, Е.И. Газукина. – МиТОМ, 2000, №6. - С.45-47.
3. Арсеничев С.П. Дифракция электромагнитного излучения на тонких проводящих пленках металлodielectricеских структур в прямоугольном волноводе / С.П. Арсеничев [и др.]// Электромагнитные волны и электронные системы. - 2017 г., т. 22, № 2. С.48-53.
4. Антоненко С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие. / С. В. Антоненко – М.: МИФИ, 2008. 104с. 18с.
5. Старостенко В.В. Воздействие электромагнитных полей на интегральные микросхемы/ В.В. Старостенко, Е.П. Таран, Е.В. Григорьев, А.А. Борисов // Измерительная техника. – 1998. - № 4. – С. 65-67.
6. Быков Ю.А. О некоторых особенностях структуры и свойств металлических тонких плёнок // Ю.А. Быков, С.Д. Карпухин, Е.И. Газукина. – МиТОМ, 2000, №6. - С.45-47.