

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.372.853

Походня  
Павел Иосифович

Электромагнитные экраны на основе неоднородных диэлектрических  
структур

### АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-98 80 01 Методы и системы защиты, информационная  
безопасность

---

Научный руководитель

Врублевский Игорь Альфонсович

Кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2016

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Наиболее эффективным, долговечным, экологически чистым и безвредным для пользователей является использование пассивных средств защиты информации от утечки по техническим каналам, а именно – экранирование электромагнитных излучений, создание систем экранирования помещений, в которых обрабатывается информация, и систем экранирования технических средств обработки информации и их компонентов. Многозначность и сложность задач, существующих в области информационной безопасности, требуют применения многофункциональных качественных экранированных объемов и конструкций, создание которых возможно только с использованием высокоэффективных экранирующих материалов.

Одним из перспективных направлений является создание экранов электромагнитного излучения на основе слоев пористого анодного оксида алюминия со встроенными углеродсодержащими соединениями. С одной стороны, анодный оксид алюминия – диэлектрик, который имеет пористую микроструктуру с контролируемыми параметрами, а с другой стороны, образцы, полученные в органических кислотах, могут содержать в своем составе аморфный углерод, который служит активной фазой для снижения коэффициента отражения электромагнитного излучения (ЭМИ). Для эффективного экранирования ЭМИ и создания систем экранирования технических средств обработки информации на основе пористого анодного оксида алюминия необходимо установить закономерности взаимодействия ЭМИ с таким неоднородным диэлектриком и многослойными экранами на его основе.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью настоящей работы является изучение эффективности новых конструкций экранов ЭМИ на основе алюминия и оксида алюминия пористого типа, исследование коэффициента отражения и ослабления ЭМИ и разработка рекомендаций по его использованию для систем защиты информации на широкоформатных панелях электромагнитных экранов. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи.

- изучить возможности использования в качестве материала для экранирования оксида алюминия пористого типа;
- исследовать характеристики отражения и ослабления ЭМИ в неоднородных диэлектрических структурах на основе оксида алюминия;
- проанализировать состояние исследований и использования экранов ЭМИ на основе многослойных, композиционных и пористых диэлектрических материалов;
- методами компьютерного моделирования и экспериментальными исследованиями определить экранирующие характеристики многослойных материалов на основе оксида алюминия пористого типа;
- исследовать влияние конструктивных элементов экранов на основе диэлектрических структур с оксидом алюминия на экранирующие характеристики и разработать конструкцию многослойного экрана на основе неоднородных диэлектрических структур.

В диссертации представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных автором лично и в соавторстве. Определение структуры, цели и задач работы, обсуждение и обобщение основных научных результатов исследования проводилось совместно с научным руководителем – кандидатом технических наук И. А. Врублевским.

Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на XX Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (Минск, Беларусь, 2015 г.); IX Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами» (Минск, Беларусь, 2014 г.).

Общий объем диссертации составляет 59 страниц, из них 54 страниц основного текста, 30 рисунков на 26 страницах, библиографический список из 20 источников, включая 2 собственных публикации автора, на 2 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении и в общей характеристике работы определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, а также показана необходимость проведения исследования в данной области.

В первой главе рассмотрены основные конструкции экранов ЭМИ и характеристики радиопоглощающих материалов, используемых для создания экранов. Показано, что экранирование электромагнитных волн является одним из самых действенных средств защиты объекта от утечки информации по электромагнитному каналу и основой экологической безопасности. Для создания благоприятной электромагнитной обстановки и обеспечения требований по электромагнитной безопасности объекта, которое включает себя противодействие несанкционированному допуску к информации с применением специальных технических средств, используются экраны для экранирования электромагнитных волн. К современным экранам ЭМИ предъявляются следующие требования: высокое поглощение электромагнитных волн в широком диапазоне частот, минимальное отражение, отсутствие выделения вредных веществ, негорючесть, небольшие габариты и вес.

Во второй главе обосновано использование оксида алюминия и алюминия в конструкциях электромагнитных экранов. Предложена и разработана методика получения пленок пористого анодного оксида алюминия со встроенными углеродсодержащими соединениями для создания экранов электромагнитного излучения. Для формирования пористого анодного  $Al_2O_3$  со встроенными углеродсодержащими соединениями (аморфный углерод в виде объемных полимерных углеродных структур) применялся метод электрохимического окисления алюминия в 0,3 М водном растворе щавелевой кислоты при постоянном напряжении анодирования 60 В и в 0,3 М водном растворе глюколевой кислоты при напряжении анодирования 180 В. Образование аморфного углерода, инкорпорированного в анодный оксид алюминия, обеспечивалось за счет последовательных реакций диссоциативной адсорбции, дегидрирования, декарбоксилирования, дегидроциклизации и поликонденсации оксалат- и гликолят-ионов, поступающих из объема электролита. Различные структурные изменения в анодном оксиде алюминия создавались за счет окисления аморфного углерода на поверхности и в порах  $Al_2O_3$  в процессе отжига в интервале температур 373...1273 К с электронным блоком управления В170.

Приведены методики получения тонких пленок нихрома и алюминия на  $Al_2O_3$  для многослойных экранов электромагнитного излучения.

Для измерений экранирующих характеристик исследуемых образцов экранов электромагнитного излучения использовали панорамный измеритель коэффициентов стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления с волноводным измерительным трактом. Коэффициенты отражения ЭМИ и передачи для исследуемых экспериментальных образцов определялись в диапазоне частот 8...12 ГГц.

В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований характеристик экранов электромагнитного излучения на основе структур с оксидом алюминия. Для моделирования характеристик отражения ЭМИ многослойного экрана использовалась специальная программа для расчета отражающей способности структур, содержащих до пяти слоев в среде Excel.

Расчет коэффициентов отражения и прозрачности для трехслойной структуры выполнялся в диапазоне длин волн 2,0...3,0 см. Моделировались частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ для трехслойной структуры, содержащей ниобат лития, оксид алюминия и тонкую пленку нихрома, в зависимости от толщины ниобата лития в частотном диапазоне 8...12 ГГц. Толщина ниобата лития выбиралась равной 0,7; 0,9; 1,2; 1,5 или 1,7 мм, для оптических постоянных задавались значения  $n = 9,0$  и  $k = 0,05$ . Толщина анодного оксида алюминия задавалось равной 0,07 мм, для оптических постоянных использовались значения  $n = 2,82$  и  $k = 0,05$ . Для пленок нихрома толщина – 0,0005 мм, оптические постоянные  $n = 450,0$  и  $k = 0,5$ . Как показали результаты компьютерного моделирования, все частотные зависимости коэффициента отражения имели минимум коэффициента отражения на длине волны полуволнового резонанса. С увеличением толщины ниобата лития в многослойном экране положение минимума коэффициента отражения смещалось в низкочастотную область.

Изучено влияние толщины  $Al_2O_3$  на частотную зависимость коэффициента отражения многослойного экрана на примере двух толщин: 70 и 140 мкм. Установлено, что при увеличении толщины  $Al_2O_3$  резонансный минимум менялся незначительно от 9,2 до 9,1 ГГц без изменения амплитуды.

Четвертая глава посвящена разработке конструкций экранов электромагнитного излучения на основе оксида алюминия и рекомендаций по их применению. Представлена схема процесса формирования пористого анодного оксида алюминия для экранов ЭМИ. Последовательность операций разработанного процесса включает операции подготовки поверхности и электрохимической полировки исходной алюминиевой фольги марки А99

(ГОСТ 11069-74, ГОСТ 25905-83) толщиной 100 мкм, маскирования химически стойким лаком (ХСЛ) одной из сторон алюминиевой фольги, электрохимического анодирования алюминия, химического удаления слоя ХСЛ, селективного химического травления алюминия и контроля качества.

Предложена конструкция многослойного экрана электромагнитного излучения в составе ниобат лития, пористый анодный  $Al_2O_3$  с пленкой нихрома. Показано, что напыление пленок нихрома с удельным поверхностным сопротивлением менее 27,4 Ом/□ на поверхность анодного оксида алюминия при использовании в конструкции многослойного экрана в составе  $LiNbO_3$  и пористого  $Al_2O_3$  приводит к перераспределению волновой энергии. В результате коэффициент отражения ЭМИ уменьшается с одновременным увеличением ослабления ЭМИ.

Предложено использовать двухслойную структуру стекло – оксид алюминия с тонким слоем алюминия в конструкциях экранов электромагнитного излучения. Показано, что минимальное значение коэффициента отражения (не более -10 дБ) в диапазоне 8...12 дБ имела структура при использовании стекла толщиной 2 мм. Для стекла толщиной 1 мм и 4 мм двухслойная структура показала коэффициенты отражения не более -7 дБ и -3 дБ соответственно. Ослабление ЭМИ образцом с толщиной стекла 1 мм было не менее 13 дБ. Частотные зависимости коэффициента отражения и ослабления для экрана ЭМИ, содержащего стекло, толщиной 2 мм и  $Al_2O_3$ , толщиной 1 мм с пленкой алюминия толщиной 0,5 мкм.

Для создания экранированных объемов зданий и помещений предложены конструкции стеновых панелей электромагнитно-акустической защиты информации с многослойными экранами с использованием проката из анодированного алюминия.

Для пленок пористого анодного оксида алюминия исследованы ИК-спектры поглощения и влияние маски из пористого анодного оксида алюминия на визуализацию объекта с тепловыми точками на экране неохлаждаемого тепловизора. Применение масок из пленок пористого оксида алюминия резко снижало прохождение теплового излучения от источников тепла и уменьшало температуру тепловых точек. Показано, что пленки пористого анодного оксида алюминия эффективно рассеивают и поглощают ИК-излучение длиной волны 8...14 мкм и могут быть использованы в качестве маскирующего покрытия. В результате нагретый объект на тепловом фоне теряет контрастность и становится малозаметным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что углеродсодержащий анодный оксид алюминия, полученный в электролите на основе водного раствора щавелевой кислоты, с упорядоченной пористой структурой и перпендикулярным расположением пор относительно поверхности образца, показал стабильность характеристик экранирования вплоть до температур отжига 550 °С. Ослабление ЭМИ анодным оксидом алюминия с углеродсодержащими включениями достигало значений  $-3,7...-2$  дБ с коэффициентом отражения  $-9...-6$  дБ в частотном диапазоне 8,0...12,0 ГГц.

Показано, что напыление пленок нихрома с удельным поверхностным сопротивлением менее 27,4 Ом/□ на поверхность анодного оксида алюминия при использовании в конструкции многослойного экрана в составе  $\text{LiNbO}_3$  и пористого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  приводит к перераспределению волновой энергии. В результате коэффициент отражения ЭМИ уменьшается с одновременным увеличением ослабления ЭМИ. Для экрана в составе ниобата лития (толщина 1,2 мм), пористого анодного  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (толщина 70 мкм) с пленкой нихрома с удельным поверхностным сопротивлением 12,4 Ом в диапазоне частот 6...18 ГГц ослабление ЭМИ достигает значения до 24 дБ, а коэффициент отражения в диапазоне частот 8... 13 ГГц снижается до  $-11,5$  дБ.

Компьютерное моделирование характеристик многослойного экрана электромагнитного излучения в составе ниобата лития, оксида алюминия и пленки нихрома на основе их оптических параметров и толщин слоев показало возможность определения положения резонансного минимума для зависимости коэффициента отражения ЭМИ от частоты. Выявлено, что с помощью выбора толщины ниобата лития в интервале значений 0,7...1,7 мм в конструкции многослойного экрана в составе ниобата лития и оксида алюминия с тонкой пленкой нихрома можно регулировать положение резонансного минимума для коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 7,0...13,0 ГГц. Обнаружено, что разброс в толщине слоя оксида алюминия, согласно результатам компьютерного моделирования, не приводит к смещению резонансного минимума коэффициента отражения ЭМИ для предложенного многослойного экрана.

Предложено использовать двухслойную структуру стекло – оксид алюминия с тонким слоем алюминия в конструкциях экранов электромагнитного излучения. Показано, что минимальное значение коэффициента отражения (не более  $-10$  дБ) в диапазоне 8...12 дБ имела структура при использовании стекла толщиной 2 мм.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Снижение коэффициента отражения металлических экранов двухслойной диэлектрической пленкой  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  – пористый оксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / П. И. Походня, И. А. Врублевский, К. В. Чернякова// Управление информационными ресурсами: материалы XI Международной научн.-практ. конф., Минск, 12 дек. 2014 г. / [редколлегия: А. В. Ивановский, А. И. Шемаров, Б. В. Новыш]. – С. 175-176

2-А. Характеристики экранирования радиопоглощающих диэлектрических структур стекло –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / П. И. Походня, И. А. Врублевский, К. В. Чернякова// Современные средства связи: материалы XX Международной научн.-техн. конф., Минск, 14-15 дек. 2015 г.