

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК621.315.5/6

**ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ
С МАЛОРАЗМЕРНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛОВ И ЖИДКИХ СРЕД**

Е.А. УКРАИНЕЦ, Н.В. КОЛБУН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 19 марта 2003*

Приводятся методика нанесения тонких пленок металлов на поверхность гибких пористых волокнистых матриц, выполненных в виде машинно-вязаных полотен, и результаты измерений эффективности экранирования конструкций на основе материалов с малоразмерными включениями металлов и жидких сред.

Ключевые слова: вакуумное осаждение, тонкие металлические пленки, электромагнитный экран, пористо-капиллярные среды.

Введение

Развитие радиосвязи и различных систем передачи и дистанционной обработки информации, телевидения, мобильной связи, радиолокации и радионавигации, связанное с активным использованием электромагнитных волн, приводит к появлению дополнительного электромагнитного фона. Электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, формируемое радиоэлектронными средствами, отличается от естественного фона по своим частотным и мощностным характеристикам и вносит дополнительный вклад в реакцию биологических объектов. Зачастую реакции биообъектов трудно предсказуемы и носят комплексный характер [1].

При создании поглощающих ЭМИ экранов и покрытий используются явления рассеивания ЭМВ, потери на проводимость при использовании проводящих материалов, а также магнитные и диэлектрические потери в среде, прямо пропорциональные значениям относительной диэлектрической (ϵ) и магнитной (μ) проницаемости материала. Для получения поглотителей ЭМВ используются ферриты, ферромагнитные материалы и диэлектрики [2], ведутся разработки новых радиопоглощающих покрытий на основе сегнетоэлектриков [3].

В связи с развитием технологии получения композитных материалов, свойства которых могут варьироваться в широких пределах путем подбора материала связующего и наполнителя, особое внимание уделяется гетерогенным радиопоглощающим средам. Материалы для поглотителей ЭМИ получают методами порошковой металлургии и с использованием технологии композиционных материалов. В качестве исходного сырья применяются неорганические порошки и волокна, закрепленные в связующем на основе неорганических (оксидов алюминия, титана и др.) или органических (смолы, полимеры, пластмассы, парафины) материалов [4]. Такие материалы обладают как высокой эффективностью экранирования, так и большим значением коэффициента поглощения ЭМВ, однако часто их применение ограничено узким частотным диапазоном. Последние исследования в области разработки композиционных

материалов направлены на расширение частотного диапазона электромагнитных экранов и получение многофункциональных конструкций [5].

Одним из способов повышения эффективности поглощения ЭМВ является использование многослойных материалов, представляющих собой либо симметричные структуры, полученные чередованием слоев с одинаковыми электромагнитными характеристиками, либо градиентные материалы, в которых слои располагаются с увеличением электрических и магнитных потерь по мере удаления от границы раздела экран – свободное пространство, что позволяет улучшить согласование волнового сопротивления экрана с волновым сопротивлением среды распространения ЭМИ. В симметричных многослойных материалах подавление волны происходит за счет многократного переотражения ЭМИ внутри экрана. Градиентные материалы могут быть выполнены в виде или многослойных структур, или с непрерывным изменением параметров материала по глубине, причем параметры обращенной к источнику ЭМИ поверхности экрана подбираются таким образом, чтобы обеспечить необходимые отражающие характеристики, а общая эффективность определяется в основном свойствами материала внутри экрана.

Существующее многообразие материалов используется в различных сочетаниях в конструкциях экранов и поглотителей ЭМИ [4], число и функциональное назначение которых весьма велико. Отдельным классом выделяются гибкие конструкции электромагнитных экранов, для изготовления которых должны использоваться материалы, обладающие кроме заданных электромагнитных свойств еще и определенными механическими характеристиками. Гибкость конструкции чаще всего обеспечивается за счет использования гибкой основы или связующего в композиционных материалах, в то время как подавление ЭМИ происходит за счет взаимодействия излучения с материалом наполнителя. Особый интерес представляет использование волокнистых материалов, отличающихся, с одной стороны, улучшенными механическими характеристиками и гибкостью, а с другой — позволяющих реализовать более высокую эффективность поглощения за счет использования особенностей распространения ЭМВ в волокнистых средах. Последние разработки в области конструирования гибких электромагнитных экранов и поглотителей ЭМИ, основанные на использовании оборудования легкой промышленности, показали их перспективность и высокую эффективность в СВЧ диапазоне [6, 7].

Одним из методов создания гибких конструкций экранов ЭМИ на основе волокнистых материалов является вакуумное напыление материалов [8]. Процессы ионно-лучевого и ионно-стимулированного магнетронного распыления являются наиболее перспективными, так как позволяют получать покрытия из металлов, сплавов и диэлектриков с высокой адгезией покрытия к подложке при малых температурных нагрузках. Высокая плотность точечных дефектов и активных центров зародышеобразования приводит к тому, что структура покрытий, полученных методами ионно-лучевого распыления, характеризуется малым размером зерен при повышенной плотности упаковки. Кроме того, технология ионно-лучевого распыления отличается высокой производительностью.

Формирование гибких конструкций экранов с жидкостным поглотителем ЭМИ на основе воды осуществляется методом пропитки подложки с последующей ее герметизацией. В качестве основы для пропитки используются матрицы из волокнистых материалов, имеющих капиллярно-пористое строение [9]. Это позволяет получить гидродисперсную структуру, которая ведет себя как однослойный материал с эффективной диэлектрической проницаемостью в нижнем рабочем диапазоне частот, а в верхнем рабочем диапазоне — обеспечивает многократное переотражение падающей ЭМВ от инкапсулированных водосодержащих объемных неоднородностей.

Варьируя состав и концентрации компонентов жидкости можно получать гибкие конструкции с различными электромагнитными характеристиками. Введение в состав раствора высокоатомных спиртов (этиленгликоля, глицерина) существенно не снижает экранирующих свойств поглотителя и позволяет расширить температурный диапазон поглотителя [5]. Электромагнитные характеристики гибких конструкций экранов с жидкостным поглотителем также зависят от количества распределенной жидкости, структуры и толщины подложки.

Исследовались экранирующие характеристики гибких конструкций экранов ЭМИ, полученных методами вакуумного напыления тонких пленок металлов на машинно-вязаную подложку, и пропитки волокнистых материалов растворами на основе воды.

Машинно-вязаная основа — подложка, на которую наносилась пленка металла, — производилась на кулирном трикотажном оборудовании по технологической схеме, обеспечивающей формирование фильтровальных трикотажных полотен с гладкими поверхностными лобовыми слоями и объемной структурой. Нанесение покрытия осуществлялось на вакуумной установке ВУ-2Мп, оборудованной двумя двухлучевыми ионными источниками. Перед напылением рабочая камера откачивалась до давления 2×10^{-3} Па и затем проводилась ионная очистка поверхности подложки (трикотажного полотна).

Установлено, что электромагнитные свойства гибких экранов на трикотажной основе зависят от толщины и материала нанесенного покрытия, материала, из которого изготовлена трикотажная основа и технологии нанесения покрытия. Электрическое сопротивление нанесенной пленки увеличивается при увеличении толщины осажденного материала, при толщине покрытия 0,1 мкм поверхностное сопротивление полотен весьма велико и составляет десятки МОм.

Экранирующие свойства материалов исследовали с помощью панорамных измерителей КСВН и ослабления в СВЧ-диапазоне на частотах 27, 30, 33, 80, 94,8 и 115 ГГц.

Были исследованы экранирующие свойства образцов с нанесенными на них тонкими пленками различных материалов: феррита, оксида титана, никеля и многослойные покрытия $\text{TiO}_2\text{-Ni}$ и $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}$. Полученные покрытия обладают хорошей адгезией к подложке, отличаются стабильностью электрофизических свойств, не деградируют с течением времени.

Наилучшими характеристиками экранирования обладают покрытия с никелем, феррит и оксид титана практически не экранируют электромагнитное излучение (рис.1). Нанесение многослойных покрытий позволяет несколько повысить эффективность экранирования.

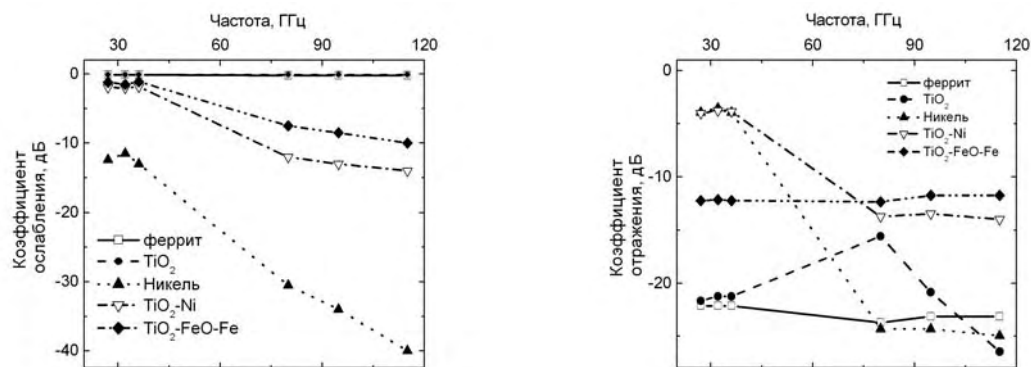


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициентов ослабления и отражения машинно-вязанных полотен с тонкопленочными металлическими покрытиями

При исследовании экранирующих свойств трикотажных полотен, на лицевую сторону которых было нанесено никелевое покрытие, было замечено, что такой материал обладает хорошими экранирующими характеристиками (около -20 дБ). Однако недостатком материала с вакуумно-осажденным покрытием является невысокий коэффициент поглощения в нижнем измеряемом частотном диапазоне, что приводит к уменьшению общей эффективности экранирования при падении электромагнитного излучения.

Было предложено исследовать экранирующие свойства многослойной конструкции, где внешним слоем был бы трикотажный материал, на лицевую сторону которого нанесено никелевое покрытие, а внутренним слоем — волокнистый пористый материал, пропитанный раствором вода–этиленгликоль в соотношении 2:1.

При изучении экранирующих свойств полученной конструкции было обнаружено значительное их улучшение по сравнению с характеристиками каждого из слоев в отдельности (рис. 2).

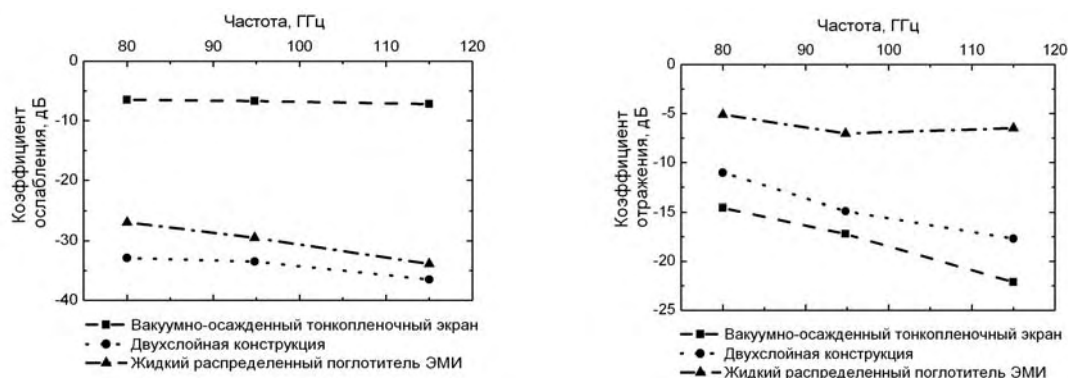


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициентов ослабления и отражения многослойных конструкций на основе полотен с тонкопленочными металлическими покрытиями и инкапсулированными жидкими средами

Увеличение общей эффективности экранирования комбинированной конструкции объясняется частичным отражением падающего электромагнитного излучения металлическим покрытием первого слоя и потерями на поглощение в металле. Прошедшая электромагнитная волна рассеивается и поглощается водосодержащими объемными неоднородностями второго слоя. Общий коэффициент отражения многослойной конструкции близок к коэффициенту отражения слоя с вакуумно-осажденной тонкой пленкой металла.

Обнаруженные особенности взаимодействия полученных двухслойных конструкций с электромагнитным излучением позволяют применять их при разработке высокоэффективных радиопоглощающих покрытий в широком диапазоне частот.

SHIELDING CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC SHIELDING MULTI-LAYERED CONSTRUCTIONS BASED ON MATERIALS WITH LOW-SIZED METAL AND LIQUID INCLUSIONS

E.A. UKRAINETZ, N.V. KOLBUN

Abstract

Methods of thin metal films deposition on the surface of flexible porous fibre moulds, made in the form of machine knitted stockinets are cited. Shielding effectiveness measurements results of structures, based on materials with low-sized metal and liquid inclusions are presented.

Литература

1. Лыньков Л.М., Прищеп С.Л., Богуш В.А., Соловьев В.В. Охрана труда и промышленная экология. Методы и средства экранирования электромагнитного излучения. Мн., 2000.
2. ГОСТ 30381-95 ССБТ. Поглотители электромагнитных волн для экранированных камер. Общие технические требования. Мн., 2000.
3. Пирумов В.С., Алексеев А.Г., Айзикович Б.В. // Зарубежная радиоэлектроника. 1994. №6. С. 2-8.
4. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П. и др. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Под ред. Л.М. Лынькова. Мн., 2000.
5. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Борботько Т.В., Колбун Н.В. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 2/1. С.92–101.
6. Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А., Борботько Т.В. // Докл. НАН Беларуси. 2002. Т. 46, № 3. С. 120-122.
7. Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А., Прокопович Д.Н. // Радиотехника и электроника. 1999. Вып. 24. С. 102-105.
8. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Завадский С.М., Сеньковец Е.А. // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29, № 15. С. 55–60.
9. Пат. 1119 РБ, МПК Н 01Q 17/00. Поглотитель электромагнитного излучения / Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. / u20030142. Заявл. 04.04.2003. Опубл. в АБ №4, 2004.