

# Наноматериалы для поглотителей электромагнитных волн и защиты информации

Леонид УСТИМЕНКО,  
к. т. н.  
Елена ХАНДОГИНА,  
к. ф.-м. н.  
Дмитрий ВЛАДИМИРОВ

Центральное конструкторское бюро специальных радиоматериалов (ЦКБ РМ), ведущее материаловедческое предприятие радиопромышленности в оборонном комплексе страны, было образовано в 1969 году. С момента создания ЦКБ РМ учеными и специалистами предприятия было выполнено около 800 научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, создано более 300 новых материалов, которые ранее были неизвестны в мире, а характеристики некоторых из них и теперь остаются непревзойденными.

ОАО «ЦКБ РМ» разработало уникальную номенклатуру радиопоглощающих материалов (РПМ) и поглотителей электромагнитных волн (ПЭВ), в том числе и на основе современных наноматериалов. Вот некоторые примеры применения нанотехнологий для поглотителей электромагнитных волн (ПЭВ) в различных сферах [1–4]:

- маскировка военной техники от радиолокационного обнаружения;
- защита информации, то есть предупреждение ее несанкционированного съема по электромагнитному каналу;
- решение проблем электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры;

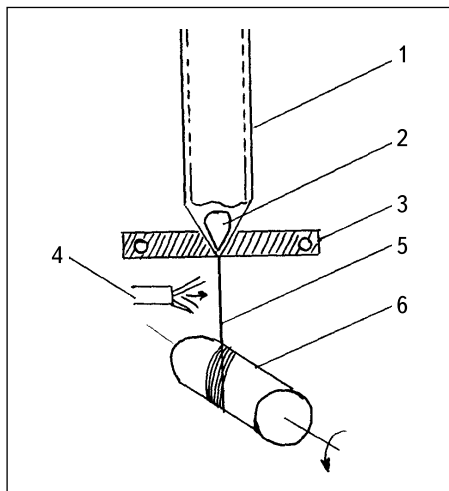


Рис. 1. Схема получения микропровода в стеклянной изоляции:  
1 — стеклянный капилляр; 2 — навеска металла;  
3 — ВЧ-индуктор; 4 — кристаллизатор;  
5 — микропровод; 6 — приемное устройство

- решение проблем медико-биологической электромагнитной безопасности (защита от вредного воздействия побочных излучений электронных приборов).

За последние 4 года получено более 20 патентов РФ на изобретения и полезные модели на поглотители электромагнитных волн, многослойные радиопоглощающие покрытия, средства защиты от электромагнитного излучения, защитно-маскировочные устройства, имитатор радиолокационных целей.

Разработан сверхширокодиапазонный радиопоглощающий материал на основе наноструктурного ферромагнитного микропровода (НФМП) в стеклянной изоляции. Основным радиопоглощающим элементом в нем является НФМП, представляющий собой тонкий металлический сердечник в стеклянной изоляции. Технология получения

НФМП (рис. 1) обеспечивает одновременное плавление металла, размягчение стеклянной трубки, окружающей навеску металла, и закалику получающегося композита со скоростью  $10^6$  °/с.

В результате получается трехслойный композит, состоящий из металлического проводника с диаметром 1–30 мкм, наноструктурного переходного слоя толщиной порядка 50 нм и стеклянной изоляции толщиной 2–30 мкм (рис. 2). Благодаря разнице коэффициента термического расширения (КТР) металла и стекла, а также наличию наноструктурного переходного слоя, материал металлического сердечника находится под воздействием гигантских напряжений ( $10^9$  Па) и обладает уникальными электрофизическими характеристиками в СВЧ-диапазоне.

Вполне понятно, что магнитные свойства [5] литого микропровода в стеклянной изоляции существенно зависят от магнитной структуры, которая главным образом определяется двумя факторами: магнитоупругой анизотропией и анизотропией формы. При этом анизотропия формы включает анизотропию формы доменов и анизотропию, вызванную цилиндрической формой жилы. Магнитоупругая анизотропия зависит, в основном, от разницы КТР, знака и величины магнитоупругости материала жилы.

Из физических расчетов следует, что максимальная проницаемость достигается при компенсации анизотропии формы магнитоупругой анизотропией. Оценки позволяют ожидать проявления магнитных свойств микропровода. В течение ряда лет были проведены исследования зависимости электросопротивления наноструктурного ферромагнитного микропровода от частоты в диапазоне СВЧ. Аномальное уве-

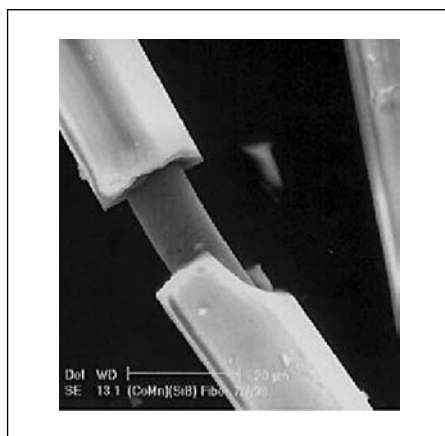


Рис. 2. Электронная микрофотография строения аморфного ферромагнитного микропровода в стеклянной изоляции (длина масштабного штриха на снимке — 20 мкм)



Рис. 3. Образцы радиопоглощающих материалов

личение относительного погонного электро-сопротивления, обнаруженное для НФМП на основе Fe и Co, позволило интерпретировать это явление как естественный ферромагнитный резонанс (ЕФМР), частота которого находится в диапазоне 5–7 ГГц и определяется составом сплава, стеклянной изоляции и геометрическими факторами.

В результате исследований была получена зависимость погонного сопротивления микропровода от частоты. Характер изменения погонного сопротивления от частоты различен для проводников с одинаковой электропроводностью и геометрией. В ходе исследования была показана возможность изменения параметров резонансной кривой в зависимости от режима технологической обработки (температуры, времени отжига), толщины и химического состава сплава. Выявлена доминирующая роль магнитоупругих напряжений в формировании формы кривой погонного сопротивления и резонансной частоты. Оценка максимальной магнитной проницаемости микропровода в СВЧ-диапазоне показала, что для сплава на основе Fe магнитная проницаемость составляет более 300. Такой уровень магнитных свойств в этом частотном диапазоне достигнут впервые, и аналогичный материал в литературе не описан. Таким образом, микропровод с аморфной жилой в стеклянной изоляции оказался уникальным материалом, обладающим следующим сочетанием свойств:

- Наличие магнитных потерь в диапазоне СВЧ.
- Возможность простыми технологическими приемами изменять величину, частоту ЕФМР и регулировать погонное сопротивление микропровода.
- Возможность получать непрерывные, до нескольких километров, отрезки микропровода, обладающего заранее заданными характеристиками.
- Химическая инертность изоляции.
- Крайне выигрышные массо-габаритные характеристики: масса микропровода  $\leq 1$  г/км.

Все это делает микропровод весьма привлекательным объектом для создания на его основе тканых поглотителей электромагнитных волн различного назначения.

Радиопоглощающий материал МРПК-1Л на основе НФМП, разработанный и выпускаемый в ОАО «ЦКБ РМ», предназначен для маскировки военной техники от обнаружения и наведения высокоточного оружия противника в радиолокационном и оптическом диапазоне. Он обладает коэффициентом отражения не хуже  $-17$  дБ (то есть менее 0,5%) в рабочем диапазоне длин волн от 0,2 до 15 см и принят на снабжение МО РФ в 2007 г.

На нашем предприятии разработаны новые пленочные и тканые РПМ, получаемые методом магнетронного напыления. Метод позволяет получать тонкие — до 5 нм — слои металлов и сплавов. Была разработана радиотехническая конструкция поглотителя, позволяющая эффективно поглощать или рассеивать падающую ЭМВ (рис. 3).

Соотношение радиуса воздушной петли, ширины вплетенных в сетевую основу пленки или ткани и радиус ячеек позволяют создавать целую номенклатуру материалов, работающих в различных диапазонах длин волн. Вес  $1 \text{ м}^2$  таких РПМ, в зависимости от модификации, составляет от 200 до 600 г, коэффициент отражения ЭМВ — от  $-17$  до  $-35$  дБ в диапазоне длин волн 0,8–25 см.

Кроме того, разработана технология изготовления экологически чистых экранирующих тканей для обеспечения медико-биологической защиты персонала и населения, работающего и проживающего в условиях вредного воздействия электромагнитных полей различной частоты и интенсивности, а также для решения

задач защиты информации. Экранирующие, поглощающие и радиорассеивающие ткани могут быть изготовлены как на базе комплексных нитей с наноструктурным ферромагнитным микропроводом (рис. 4), так и с напыленными металлическими слоями нанометровой толщины. Эффективность работы таких тканей в качестве ПЭВ зависит от типа НФМП, структуры плетения, толщины и химического состава напыленного металлического слоя и, разумеется, радиотехнической схемы ПЭВ. В среднем коэффициент отражения таких тканых ПЭВ в сантиметровом диапазоне длин волн не хуже 1%. Такие ткани можно применять для пошива спецодежды, защитных штор, жалюзи и других швейных изделий, предназначенных для локализации повышенного уровня электромагнитных излучений в помещениях, перенасыщенных электронными приборами (лаборатории СВЧ-техники, диагностические и физиотерапевтические медицинские центры, компьютерные клубы, редакции СМИ и т. д.).

Разработанные предприятием индивидуальные многофункциональные маскировочные покрытия для различных видов ВВТ приняты на снабжение МО РФ, и в настоящее время осуществляются их серийные поставки с нарастающим объемом.

Предприятие получило лицензию МО РФ на деятельность в области создания средств защиты информации и является аккредитованной испытательной лабораторией восьмого управления Генерального штаба



Рис. 4. Образцы электропроводящей ткани с ферромагнитным микропроводом

Вооруженных сил РФ в области средств защиты информации.

В 2009 году была успешно проведена ОКР по созданию костюма оператора — блокиратора радиоуправляемых взрывных устройств. Наличие наноструктурного ферромагнитного микропровода в составе ткани костюма обеспечивает снижение уровня падающего электромагнитного излучения до 1000 раз.

В настоящее время ведется разработка экранирующих материалов и устройств, в том числе для защиты от несанкционированного доступа к информации по электромагнитному каналу, применяемых для защиты оконных проемов выделенных помещений. Эти материалы с успехом демонстрировались на различных международных выставках и форумах и получили ряд престижных наград.

На основе этих материалов был разработан и изготовлен чехол, обеспечивающий снижение уровня избыточного излучения мобильных телефонов в режиме ожидания и связи с базовой станцией. Такой чехол может быть использован для телефонов стандартов GSM-900, GSM-1800, GSM-1900, CDMA. Рабочий слой изготавливается из радиопоглощающего трикотажа и обеспечивает снижение уровня

вредного воздействия побочного электромагнитного излучения в 20–40 раз.

Наноструктурный ферромагнитный микропровод также послужил основой для создания системы магнитных маркеров для кодирования и идентификации объектов — групп товаров, ценных бумаг, систем доступа, пластиковых карточек и др. Такое кодирование применяется для защиты от подделки, сортировки, в кодовых ключах, магнитных карточках. Магнитный маркер несет неизменяемый и нестираемый код, который можно уничтожить только механически. Состав и объем информации устанавливается при изготовлении метки диаметром 20 микрон и длиной 5–7 мм. Основными преимуществами магнитного маркера на основе НФМП являются:

- Устойчивость магнитного маркера к внешним воздействиям и магнитным полям, так как он сохраняет свои свойства после воздействия температуры до 400 °С.
- Коррозионная стойкость.
- Устойчивость к экранированию: считываются маркеры на металлических поверхностях за металлическими экранами.
- Устойчивость к механическим воздействиям: критический радиус изгиба НФМП составляет не более 0,2 мм.

- Малые физические размеры (20 мк) магнитного маркера дают возможность для скрытного его размещения.

Система защиты, построенная на магнитных маркерах, относительно проста при высочайшем уровне защиты.

Все разработки ЦКБ РМ имеют патенты и нашли свое применение как в военных целях, так и в различных областях промышленности. ■

## Литература

1. Владимиров Д. Н., Хандогина Е. Н. Электромагнитное экранирование радиоэлектронной аппаратуры // Экономика и производство. 2003. № 2.
2. Коваленко В. Н., Владимиров Д. Н., Хандогина Е. Н. Многофункциональные экранированные объемы // Современные технологии безопасности. 2003. № 2.
3. Владимиров Д. Н., Хандогина Е. Н. Материалы для защиты от электромагнитных полей // Мир техники и технологий. 2007. № 5.
4. Альтман Ю. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений. М.: Техносфера, 2006.
5. Khandogina E. N., Petelin A. L. Magnetic, mechanical properties and structure of amorphous glass coated microwires // Magn. Mater. 2002. V. 249, issue 1–2.