

МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.315.5.6

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ
МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКРАНОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Л.Г. ЛИТВИН, В.А. БОГУШ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Академия управления при Президенте Республики Беларусь
Московская, 17, Минск, 220007, Беларусь**Поступила в редакцию 10 ноября*

Предложена методика синтеза композиционных металлосодержащих радиопоглощающих волокнистых материалов на основе полиакрилонитрильных волокон. Проведены исследования взаимодействия электромагнитного излучения с образцами из никель- и кобальтсодержащих волокон в частотном диапазоне от 8 до 12 ГГц. Предложена методика стабилизации электромагнитных характеристик синтезированных материалов. Установлено, что значения коэффициента отражения и передачи полученных материалов имеют нерезонансный характер и определяются условиями синтеза. Обсуждены возможности применения новых материалов для экранирования побочных электромагнитных излучений информационных устройств и изделий электронной техники, подавления негативного влияния электромагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, композиционные радиопоглощающие материалы.

Введение

Активное использование электромагнитного ресурса, связанное с развитием радиосвязи и различных систем передачи и дистанционной обработки информации, телевидения, мобильной связи, радиолокации и радионавигации, приводит к тому, что мы практически повсеместно сталкиваемся с негативной составляющей электромагнитного излучения (ЭМИ). Повышенные требования к качеству работы, быстродействию и экологичности устройств обуславливают разработку и применение в их конструкциях новых высокоэффективных экранирующих и радиопоглощающих материалов. При этом особое внимание уделяется таким параметрам электромагнитных экранов, как стоимость, масса, воздухопроницаемость, теплопроводность [1].

Новым подходом в экранировании стал синтез композиционных материалов, которые представляют собой диэлектрическую матрицу с проводящим или магнитным наполнителем различной формы и размера, что позволяет достигать высокой эффективности и требуемых конструктивных параметров в широком диапазоне частот. Выбор материала основы и наполнителя дает возможность варьировать и получать композиционные материалы с заданными свойствами. Особое внимание уделяется гетерогенным радиопоглощающим материалам. В настоящее время возрос интерес в использовании металлических кластеров в качестве добавок в перодовых технологичных материалах. Включение наноразмерных структур в полимерную матрицу позволяет придавать ей новые физические характеристики и изменять свойства полимера [2].

Значительный прогресс произошел в понимании фундаментальных основ получения наноструктурных композитов. Разработаны новые прогрессивные направления для синтеза и коммерческого производства наночастиц из газообразного, жидкого и твердого состояния [3]. В промышленности композиционные материалы могут быть получены путем смешивания различных компонентов, с последующей фиксацией с использованием методов порошковой металлургии, отжигом, полимеризацией, напылением жидкого металла, вакуумным напылением металлов и т.д.

Химическое восстановление металлов из водных растворов их солей является одной из привлекательных технологий, которая характеризуется, во-первых, низкой стоимостью, а во-вторых, тем, что процесс формирования структуры металла, содержащегося в диэлектрической матрице, происходит при достаточно низкой температуре. Метод химического осаждения из водных растворов солей металлов основан на протекании окислительно-восстановительной реакции на активированной поверхности материала основы при температуре не выше 100°C и позволяет не накладывать никаких ограничений на форму и размер подложки.

Использование волокнистых материалов в качестве основы для синтеза композитов обладает рядом преимуществ: высокой технологичностью таких изделий и невысокой стоимостью, что делает их привлекательными для создания гибких конструкций экранов и поглотителей электромагнитного излучения с повышенной прочностью, износостойкостью, воздухопроницаемостью и другими технологическими и эксплуатационными преимуществами.

Методика проведения экспериментов

В качестве осаждаемых материалов выбраны никель и кобальт, исходя из их электрических и магнитных характеристик, высокой стабильности и коррозионной стойкости, а также радиопоглощающих свойств композиционных волокон на их основе. Особенностью формирования кластеров этих металлов является их склонность образовывать промежуточные и относительно устойчивые металлорганические соединения.

Реакции химического восстановления ферромагнитных металлов являются автокаталитическими, т. е. металл, образовавшийся в результате химического восстановления из раствора, катализирует дальнейшую реакцию восстановления этого же металла [4]. Но для начального периода восстановления металла необходимо, чтобы покрываемая поверхность имела каталитические свойства, которые создаются в результате выполнения операции, получившей название активирование. Активирование заключается в том, что на обрабатываемую поверхность наносятся химическим путем чрезвычайно малые количества металлов, являющихся катализаторами реакции химического восстановления. Такими катализаторами являются коллоидные частицы или малорастворимые соединения палладия, платины, золота, серебра [5]. Однако использование драгоценных металлов в качестве центров активации процесса восстановления металлов на подложке повышает стоимость полученных материалов.

В качестве основы для синтеза решено было использовать полиакрилонитрильные волокна (ПАН), отличающиеся доступностью и невысокой стоимостью. Экспериментальные образцы представляли собой отрезки (5×5 см) машинно-вязаного полотна толщиной порядка 1 мм.

Синтез проводился в четыре стадии путем обработки образцов в различных растворах. На первой стадии на поверхности волокна из 1М водного раствора соли осаждаемого металла $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ или $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ осуществляли химическую сорбцию ионов Ni^{2+} или Co^{2+} соответственно для активации подложки и дальнейшего восстановления металла на поверхности образца, а не во всем объеме раствора. На второй — образцы помещались в раствор, содержащий соль металла и восстановитель, в результате чего на поверхности подложки происходило формирование кластеров металла. Были проведены эксперименты, в которых образец поочередно несколько раз обрабатывался в растворе, содержащем соль Ni, а затем Co. В качестве восстановителя использовался дитионит натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, который способен при невысоких температурах восстанавливать ферромагнитные металлы из водных растворов их солей. Требуемая концентрация металлических кластеров на поверхности волокон ПАН достигалась варьированием содержания в растворе соли и восстановителя, а также временем протекания реакции. На третьей стадии проводили промывку образцов, содержащих кластеры восстановленного металла,

водопроводной водой. На четвертой — образцы, высушенные в сушильном шкафу, и образцы без предварительной сушки запаивались в прозрачную высококачественную воздухо непроницаемую полиэтиленовую пленку для предотвращения окисления металла кислородом воздуха.

Исследования электромагнитных свойств радиопоглощающих покрытий проводили в частотном диапазоне 8–12 ГГц с помощью панорамного измерителя коэффициента стоячей волны и ослабления Я2Р-67 и волноводного тракта. Оценка эффективности поглощения электромагнитной энергии осуществлялась сравнением измеренных значений модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ и коэффициента передачи $|S_{12}|$ образца, закрепляемого между фланцев волноводов измерительного тракта.

Результаты и обсуждение

Показано, что осаждение никеля и кобальта на поверхность ПАН методом сорбции ионов с последующим восстановлением приводит к формированию наноструктурных покрытий, содержащих кластеры металла и его соединений, зафиксированных в пористой структуре волокна. В результате проведенных экспериментов было установлено, что синтезированные волокнистые материалы обладают экранирующими свойствами. Зависимость коэффициента передачи синтезированных материалов от частоты приведена на рис. 1, коэффициента отражения — на рис. 2.

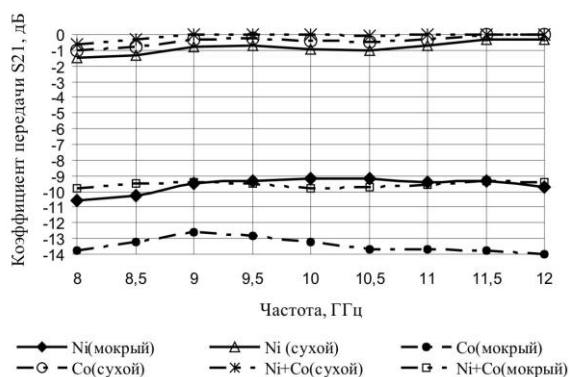


Рис. 1. Зависимость коэффициента передачи синтезированных образцов от частоты

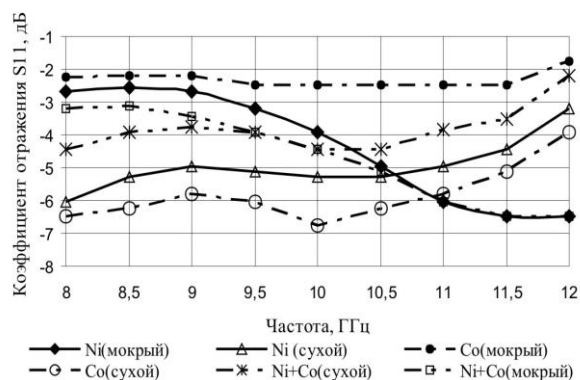


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения синтезированных образцов от частоты

Экспериментально показано, что образцы, содержащие воду, обладают достаточно высоким коэффициентом отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8–12 ГГц уменьшающимся с увеличением частоты. Для материалов, содержащих Co, коэффициент отражения в среднем равен — 2 дБ, Ni — в среднем — 4 дБ, Ni и Co — 4,5 дБ. При этом коэффициент передачи составляет: для кобальтсодержащих образцов — 13 дБ, никельсодержащих — 10 дБ, для образцов, содержащих кластеры и никеля, и кобальта — 10 дБ. Образцы, предварительно высушенные, обладают более низким коэффициентом отражения, но при этом и значение коэффициента передачи существенно ниже.

Синтезированные волокнистые материалы отличались высокой химической активностью по отношению к парам воды и кислороду воздуха, что отражалось в изменении окраски волокон и значений ослабления электромагнитной энергии. Так, например, для кобальтсодержащих материалов значение ослабления, которое давали полученные образцы сразу после синтеза, в среднем равнялось 14 дБ в диапазоне частот от 8 до 12 ГГц. По истечении времени металл на поверхности образцов начинал окисляться, что выражалось изменением окраски, а также ухудшением характеристик экранирования: значение коэффициента ослабления кобальтсодержащих образцов примерно через 2 недели в среднем было равно 11 дБ.

Для предотвращения окисления металлических кластеров предложено использовать изоляцию образцов силиконом, образующим защитную оболочку вокруг образцов. Основная

идея стабилизации характеристик заключается в изоляции зоны реакции окисления от внешнего кислорода. Проведенные эксперименты, показали, что значения коэффициента отражения (рис. 3) и коэффициента передачи (рис. 4) изменились сразу после применения силикона.

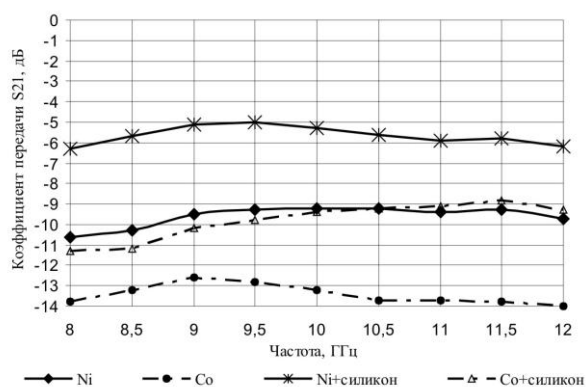


Рис. 3. Коэффициент передачи образцов, запаянных в вакуумную пленку и образцов, дополнительно стабилизированных силиконом

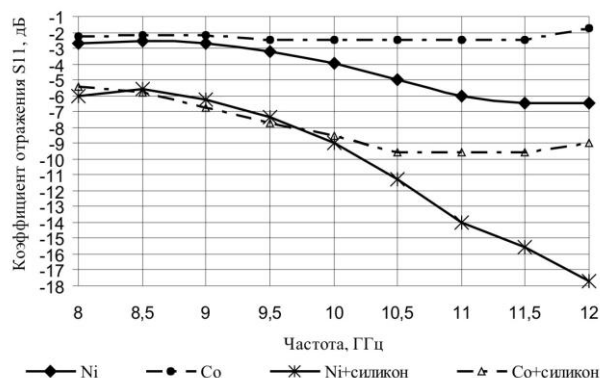


Рис. 4. Коэффициент отражения образцов, запаянных в вакуумную пленку и образцов, дополнительно стабилизированных силиконом

Основные факторы, требующие дальнейших исследований, — стабильность характеристик во времени и предотвращение окисления образцов, а также рассмотрение вопроса снижения коэффициента отражения.

Полученные характеристики волокнистых металлосодержащих материалов свидетельствуют о перспективе их использования в качестве гибких поглотителей ЭМИ, экранов ЭМИ, а также согласующего слоя в многослойных конструкциях радиопоглощающих покрытий. Обсуждаются вопросы применения материалов в системах обеспечения экологической безопасности, защиты пользователей радиоэлектронного оборудования и для уменьшения уровней паразитных электромагнитных излучений информационных систем. Полученные материалы перспективны для использования в конструкциях поглотителей электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

Заключение

Методом химического восстановления металлов из водных растворов их солей в присутствии кластеров этого же металла в качестве каталитически активных центров металлизации на основе ПАН синтезированы волокнистые металлосодержащие материалы.

Экспериментально показано, что материалы обладают коэффициентом отражения ЭМИ в диапазоне частот 8–12 ГГц, не превышающем –18 дБ. Проведена стабилизация электромагнитных характеристик образцов путем добавления силикона в волокнистую матрицу после синтеза металла на ее поверхности. Полученные материалы перспективны для использования в конструкциях поглотителей электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

METHOD OF SYNTHESIS OF COMPOSITE METAL-CONTAINING MATERIALS FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION'S SHIELDS

L.G. LITVIN, V.A. BOGUSH

Abstract

A method of synthesis of metal containing coatings on the surface of modified polyacrylonitrile by electroless deposition of nickel; cobalt and their alloys from aqua solutions is given. The paper presents the results on investigation of microwave properties of synthesized composite materials. The materials are applied for creation of flexible coatings with low reflection in microwave and optical range.

Литература

1. *Богуш В.А., Борботько Т.В.* // Докл. БГУИР. 2006. № 1. С. 55–62.
2. *Carotenuto, L. Nicolais, B. Martorana et al.* // Metal-polymer nanocomposites. 2005. P. 155–181.
3. *Ткачев А.Г., Золотухин И.В.* Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М., 2007.
4. *Петрова Т.П.* // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, №11. С. 57–62.
5. *Ильин В.А.* Металлизация диэлектриков. Л., 1977.