

12

## **Методика формирования медьсодержащих волокнистых материалов для экранов электромагнитного излучения СВЧ-диапазона**

© Л.Г. Литвин, В.А. Богуш

Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь  
E-mail: LiudmilaLitvin@gmail.com  
Академия управления при Президенте Республики Беларусь,  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: bogush@academy.edu.by

*Поступило в Редакцию 14 апреля 2009 г.*

Предложена методика синтеза композиционных металлосодержащих радио-поглощающих волокнистых материалов на основе полиакрилонитрильных волокон. Исследовано взаимодействие электромагнитного излучения с образцами машинно-вязаных полотен из медьсодержащих волокон в частотном диапазоне 8–12 GHz. Проведен анализ химического состава синтезированных материалов. Обсуждены возможности применения новых материалов и конструкций для экранирования побочных электромагнитных излучений информационных устройств и изделий электронной техники, подавления негативного влияния электромагнитного поля.

PACS: 78.70.Gq, 81.05.Zx, 81.20.Ka

На протяжении всего существования человечества биологические объекты подвергаются воздействию естественного электромагнитного излучения (ЭМИ), к которому организмам уже удалось адаптироваться. Появление дополнительного искусственного фона, связанного с развитием радиосвязи и различных систем передачи и дистанционной обработки информации, телевидения, мобильной связи, радиолокации и радионавигации, существенно влияет на функционирование живых существ и технических объектов. При длительном воздействии СВЧ-

излучений могут возникать изменения в крови, нервно-психические заболевания, нарушение работы механизмов и аппаратуры [1].

Электромагнитное излучение СВЧ-диапазона, формируемое радиоэлектронной аппаратурой, отличается от естественного фона по своим частотным и мощностным характеристикам и вносит дополнительный вклад в реакцию биологических объектов. Зачастую реакции биообъектов труднопредсказуемы и носят комплексный характер [1,2].

Особенно актуальной становится необходимость разработки широкополосных высокоэффективных экранирующих и радиопоглощающих материалов. При этом особое внимание уделяется таким параметрам электромагнитных экранов, как стоимость, масса, воздухопроницаемость, теплопроводность и так далее, что обусловлено не только проблемами воздействия электромагнитных излучений на биологические объекты, но и высокой потребностью в таких материалах при разработке и усовершенствовании конструкций изделий радиоэлектроники, устройств защиты информации и военной техники.

Для получения заданных электромагнитных характеристик широко используются композиционные материалы, сочетающие в себе необходимые механические и диэлектрические свойства материала-основы с магнитными и электропроводящими свойствами материала-наполнителя. Характеристики композиции могут варьироваться за счет размеров и концентрации частиц наполнителя.

При синтезе композиционных материалов на основе волокнистых материалов несомненным преимуществом является высокая технологичность таких изделий, невысокая стоимость, что делает их привлекательным для создания гибких конструкций экранов и поглотителей ЭМИ с повышенной прочностью, износостойкостью, воздухопроницаемостью и другими технологическими и эксплуатационными преимуществами.

Предлагается формировать наноразмерные металлосодержащие элементы, включенные в структуру волокнистого органического материала методом химического восстановления металлов из водных растворов, позволяющим контролировать процесс осаждения и получать покрытия с регулируемыми характеристиками, являющимся одним из наиболее перспективных для формирования наноразмерных структур. При выборе осаждаемых материалов необходимо учитывать химические и физические свойства их малоразмерных кристаллов (коррозионную стойкость, стабильность структуры и электрических и магнитных ха-

рактических). Хорошей сопротивляемостью коррозии и способностью к образованию многих сплавов с большим диапазоном различных свойств обладает медь. Широкое применение меди в промышленности обусловлено рядом ее ценных свойств и прежде всего высокой электрической проводимостью, пластичностью, теплопроводностью [3].

В качестве восстановителя в растворах химического меднения используют формальдегид, являющийся единственным восстановителем, который катализирует реакцию восстановления ионов меди  $\text{Cu}^{2+}$  при комнатной температуре. Формальдегид является хорошим восстановителем ионов  $\text{Cu}^{2+}$  лишь в щелочной среде. Поэтому на практике для химического меднения используют щелочные растворы. Для того чтобы исключить выпадение в осадок гидроксида меди, в них вводят лиганды, связывающие ионы  $\text{Cu}^{2+}$  в прочный комплекс. В качестве лигандов используют оксалаты, аммиак, глицерин, но чаще всего применяют соль винной кислоты (тартрат калия-натрия) или динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (техническое название трилон Б) [4].

При химическом осаждении металлов поверхность материала-основы должна быть подготовлена и каталитически активна, чтобы обеспечить протекание реакции восстановления металла из раствора и адгезию кластеров на образце, а не на стенках сосуда, в котором происходит восстановление. В качестве основы предложено использовать полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, отличающиеся доступностью, невысокой стоимостью и способностью подвергаться модифицированию [5].

К недостаткам волокон ПАН следует отнести их низкую гигроскопичность, сравнительно большую жесткость и малую устойчивость к стиранию.

Модифицирование волокон ПАН заключается в проведении полимераналогичных реакций с аминогруппами, в результате которых молекулы полиакрилонитрила приобретают способность хемосорбировать ионы металлов. Необходимость модифицирования полиакрилонитрильных волокон также обусловлена их плохой смачиваемостью, высокой гидрофобностью, что препятствует протеканию реакций осаждения металлов. Гидрофобность и низкая гигроскопичность материала связана с присутствием в элементарном звене полимера  $\text{C} \equiv \text{N}$  групп, модификация которых проводится с помощью реакции оксиаминирования путем разрыва части тройных связей в нитрильных группах и преобразования их в двойные [6].

При проведении модифицирования в лабораторных условиях использовали навеску волокон ПАН массой 5 г. Раствор  $(\text{NH}_2\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$  готовили на водопроводной воде в следующей пропорции: 41.3 г вещества на 300 ml воды. Уменьшение концентрации гидроксилamina в растворе, а также недостаток соды для коррекции pH снижают степень модифицирования, в результате чего волокно проявляет слабые сорбционные свойства.

Процесс химического меднения полиакрилонитрильных волокон осуществляли в три стадии. На первом этапе предварительно модифицированные волокна помещали в раствор соли  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  30 g/l и сульфата никеля  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  4 g/l для сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$ . Параллельно в другой порции воды готовили второй раствор: тартрат калия-натрия  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  60 g/l, карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1.5 g/l, гидроксид натрия  $\text{NaOH}$  20 g/l и этилендиаминтетраацетат ЭДТА 1 g/l. На второй стадии приготовленные растворы смешивали и добавляли гипосульфит натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0.005 g/l. На третьем этапе добавляли формальдегид  $\text{CH}_2\text{O}$  (40%) 25 ml/l, после чего при нагревании до температуры 20–25°C начиналась реакция восстановления кластеров Cu.

Исследования электромагнитных свойств радиопоглощающих покрытий проводили в частотном диапазоне 8–12 GHz с помощью панорамного измерителя коэффициента стоячей волны и ослабления Я2Р-67. 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.

Для идентификации химического состава синтезированных материалов использовался метод рентгенофазового анализа с применением установки ДРОН-3 с фильтрованным  $\text{CuK}_\alpha$ -излучением (длина волны  $\lambda = 1.5417737 \text{ \AA}$ ). Запись дифракционной картины на диаграммную ленту производилась со скоростью 1000 pulses/s в диапазоне углов от 12 до 95°. Расшифровку дифрактограммы проводили с помощью базы данных PCPDFWIN Международного центра по дифракционным данным с результатами рентгенографических исследований.

Методом дифракции рентгеновского излучения показано, что волокна ПАН после модифицирования и сорбции ионов металлов имеют рентгеноаморфную структуру. Установлено, что на дифрактограмме синтезированного материала кроме пика, обусловленного влиянием подложки — модифицированного ПАН (межплоскостное расстоя-

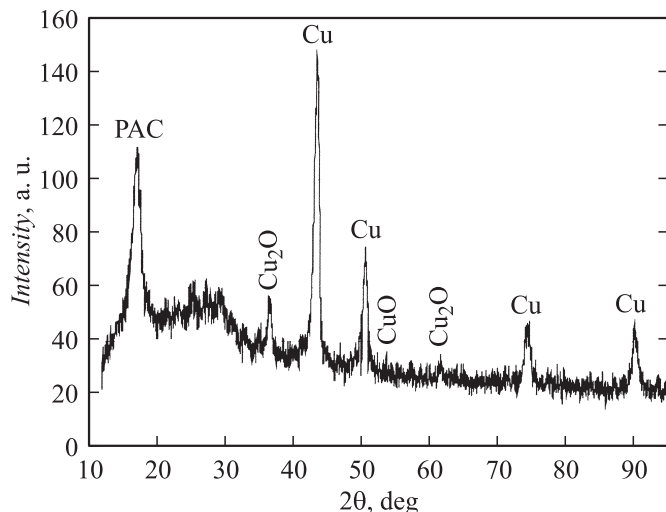
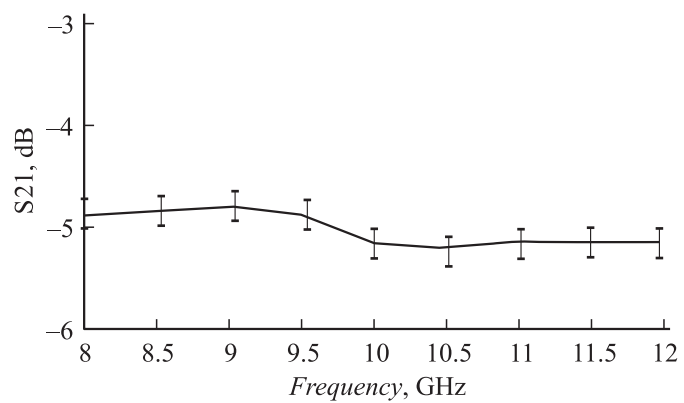


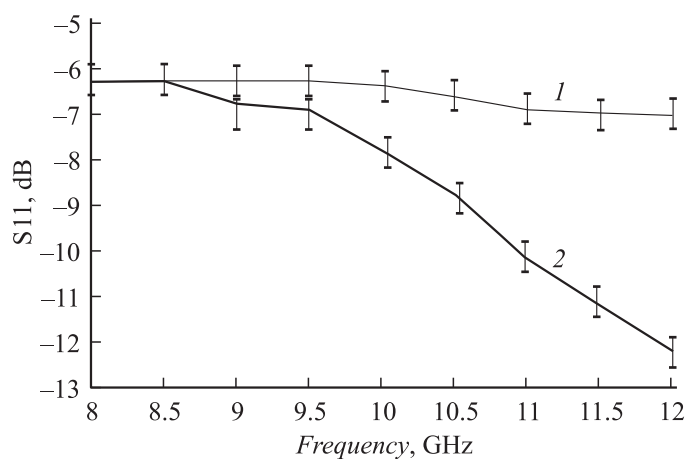
Рис. 1. Дифрактограмма волокон полиакрилонитрила после осаждения меди.

ние  $5.069 \text{ \AA}$ ), присутствуют пики, соответствующие металлической меди, а также соединениям меди с кислородом:  $\text{Cu}_2\text{O}$  и  $\text{CuO}$  (рис. 1). Дифрактограммы образцов модифицированного ПАН характеризуются наличием пика в области углов  $\sim 17.5^\circ$ , что связано с образованием пространственных связей между макромолекулами полимера. Шумы, обнаруженные на дифрактограммах, а также увеличение интенсивности рассеянного рентгеновского излучения в области малых углов дифракции объясняются влиянием органической составляющей волокон [7].

В результате проведенных экспериментов было установлено, что синтезированные медьсодержащие волокнистые материалы обладают экранирующими свойствами, причем эффективность экранирования повышается с увеличением частоты ЭМИ. При анализе взаимодействия волокнистых композиционных медьсодержащих материалов с электромагнитным излучением СВЧ-диапазона установлено, что амплитудно-частотные зависимости модулей коэффициентов отражения и передачи покрытий в диапазоне  $8\text{--}12 \text{ GHz}$  имеют нерезонансный характер. Величина коэффициента передачи полученных материалов в этом диапазоне в среднем равна  $-5 \text{ dB}$  (рис. 2), при этом значение коэффициента отра-



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента передачи медьсодержащих полотен от частоты.



**Рис. 3.** Зависимость коэффициента отражения медьсодержащих полотен от частоты: 1 — исходные образцы, 2 — образцы при установке за ними металлического отражателя.

жения материалов без отражателя не превышает  $-7$  дВ, с отражателем уменьшается от  $-6$  дВ до  $-12$  дВ с увеличением частоты (рис. 3). Установлено, что эффективность экранирования медьсодержащих материалов изменяется от 2 до 5 дВ и увеличивается с повышением частоты.

Полученные характеристики волокнистых медьсодержащих материалов свидетельствуют о перспективе их использования в качестве гибких поглотителей и экранов электромагнитного излучения, а также согласующего слоя в многослойных конструкциях поглотителей электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

## Список литературы

- [1] *Лыньков Л.М., Прищепя С.Л., Богуш В.А., Соловьев В.В.* Охрана труда и промышленная экология. Методы и средства экранирования электромагнитного излучения. Минск, 2000. 106 с.
- [2] *Лыньков Л.М., Соловьев В.В., Борботько Т.В.* Безопасность эксплуатации источников электромагнитных полей. Минск, 2002. 74 с.
- [3] *Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А., Борботько Т.В.* // Докл. НАН РБ. 2002. Т. 46. № 3. С. 120–122.
- [4] *Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П.* и др. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Под ред. Л.М. Лынькова. Минск: БГУИР, 2000.
- [5] *Петрова Т.П.* // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 11.
- [6] *Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А.* // Новые информационные технологии в науке и производстве: матер. Междун. науч.-техн. конф. 25–27 ноября 1998 г. Минск: БГУИР, 1998. С. 345–346.
- [7] *Горелик С.С.* Рентгенографический и электроннооптический анализ / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков. М.: Металлургия, 1970. 108 с.