

05.2;09;12

Никельсодержащие тонкопленочные покрытия на волокнистых материалах

© Л.М. Лыньков, В.А. Богущ, Е.А. Сеньковец, С.М. Завадский

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, Минск
E-mail: aleks@gw.bsuir.unibel.by

Поступило в Редакцию 2 декабря 2003 г.

Перспективным методом создания электромагнитных экранов является вакуумное осаждение тонких пленок на волокнистые материалы. Для изучения электромагнитных свойств получены машиновязанные полотна, на которые методом магнетронного распыления наносилось никелевое покрытие. Исследованы экранирующие характеристики трикотажных полотен, на которые с одной стороны был осажден никель. При расположении источника электромагнитного излучения с напыленной стороны полотна обнаружено уменьшение коэффициента отражения в 1.4 раза по сравнению со случаем его расположения с ненапыленной стороны. В то же время коэффициент поглощения остался неизменным. Также был проведен структурный анализ полученного материала.

Введение. Электромагнитное излучение (ЭМИ) широко используется во многих областях человеческой деятельности. Однако повышенные уровни электромагнитных полей оказывают отрицательное влияние на биологические объекты, организм человека, усложняют функционирование маломощного высокоточного измерительного оборудования, обостряют проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и защиты информации.

В связи с этим актуальной становится задача разработки высокоэффективных и технологичных экранирующих и поглощающих материалов и покрытий. Особый интерес вызывают методы создания эластичных радиопоглощающих материалов, основанные на использовании широко распространенного трикотажного оборудования и отличающиеся низкой стоимостью и материалоемкостью [1].

Одним из перспективных методов изготовления электромагнитных экранов является вакуумное осаждение тонких пленок на волокнистые материалы.

Методика изготовления образцов. Использование процессов ионно-лучевого и ионно-стимулированного магнетронного распыления позволяет получать покрытия из различных материалов, которые имеют высокую адгезию к подложке при сравнительно невысоких температурных нагрузках [2].

Для изучения экранирующих свойств были изготовлены образцы, на которые было нанесено методом магнетронного распыления металлическое покрытие из никеля.

Нанесение покрытия осуществлялось на вакуумной установке ВУ-2МП, оборудованной двумя двухлучевыми ионными источниками. Перед напылением рабочая камера откачивалась до давления $2 \cdot 10^{-3}$ Па, затем проводилась ионная очистка поверхности подложки (трикотажного полотна).

Покрытие формировалось распылением никелевой мишени ионно-лучевым источником с параметрами разряда $U_p = 5$ кВ, $I_p = 200$ мА и рабочем давлением в камере $P = 2 \cdot 10^{-2}$ Па.

Трикотажная основа — подложка, на которую наносился никель, производилась на кулирном трикотажном оборудовании по технологической схеме, обеспечивающей формирование трикотажных полотен с ворсистой объемной структурой.

Толщина покрытия контролировалась по времени процесса с помощью калибровочной кривой, представляющей собой зависимость толщины никелевого покрытия на стекле от времени распыления. Сформированная никелевая пленка имеет поверхностное сопротивление, равное $3 \Omega/\square$. На трикотажную основу (полиакрилонитрил) было нанесено одностороннее покрытие из никеля толщиной $0.1 \mu\text{m}$.

Полученное покрытие обладает хорошей адгезией к подложке, отличается стабильностью электрофизических свойств, не деградирует с течением времени.

Экспериментальная часть. Структура синтезированного материала изучалась методами рентгеновской дифрактометрии на установке ДРОН-30, с использованием $\text{Cu}_{k-\alpha}$ излучения (длина волны $\lambda = 1.5417737 \text{ \AA}$), для общего фазового анализа и оценки среднего размера кристаллических частиц. Запись дифракционной картины на диаграммную ленту производилась со скоростью 2000 pulses/s в диапазоне углов от 10 до 80° . Рентгенограммы записаны в координатах интенсивность (I)—угол (2θ). Обработка полученной рентгенограммы производилась путем оценки относительной интенсивности дифракци-

онных линий по стобальной шкале при помощи измерения площади пиков и принятия площади самого большого пика за сто.

Шумы, обнаруженные на дифрактограммах, а также увеличение интенсивности рассеянного рентгеновского излучения в области малых углов дифракции объясняется влиянием органической составляющей волокон [3].

Идентификация осажденного металла производилась путем анализа дифрактограмм по ASTM картотеке. Исследование образцов с никелевым покрытием проводилось с лицевой (напыленной) и изнаночной (ненапыленной) сторон.

Экранирующие свойства материалов исследовали с помощью комплекса векторных анализаторов цепей, измеряющих S -параметры четырехполюсников в СВЧ диапазоне (1.5...18–18...37 GHz) [4].

Перед проведением измерений аппаратура проходила процедуру калибровки, в результате которой амплитудно-частотная характеристика трактов принимается за нулевой уровень и все измерения образцов производятся относительно этого уровня.

Иследуемый образец, представляющий собой квадратный кусок трикотажного полотна размером 15×15 см, закрепляли между приемником и излучателем, в качестве которых использовались рупорные системы или фланцы волноводной системы. В качестве измеряемых параметров выбрали коэффициенты отражения и передачи (S_{11} и S_{21} соответственно). Образец полотна натягивался равномерно со всех сторон для предотвращения перекоса структуры трикотажа и размещался в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

При изучении рассматривался случай расположения источника электромагнитного излучения как с лицевой, так и с изнаночной стороны.

Результаты и обсуждение. При исследовании экранирующих свойств трикотажных полотен, на лицевую сторону которых нанесено покрытие, содержащее тонкие слои никеля, были получены значения коэффициентов передачи (S_{21}) и отражения (S_{11}) с напыленной и ненапыленной стороны в диапазоне частот 1.5...37.7 GHz. Было замечено, что на более низких частотах коэффициент отражения больше ($-8 \dots -10$ dB), тогда как на более высоких частотах он уменьшается до $-4 \dots -6$ dB. С коэффициентом передачи наблюдается обратная зависимость — с увеличением частоты увеличивается и коэффициент передачи от -2 до -10 dB.

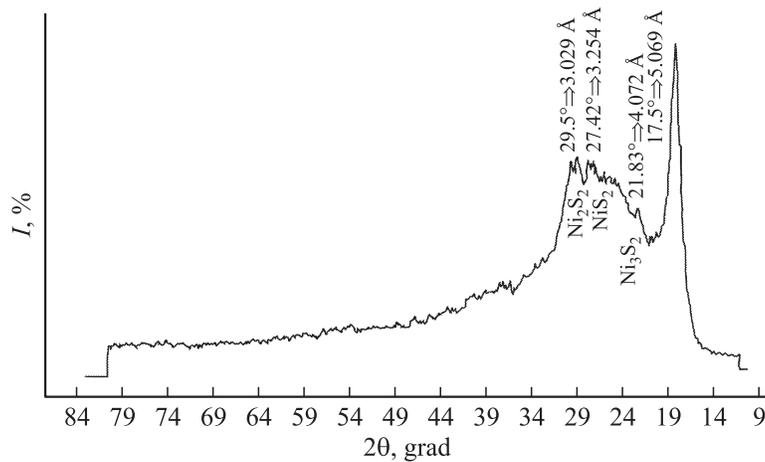


Рис. 1. Дифрактограмма напыленных никелем волокон полиакрилонитрила с ненапыленной стороны.

Было обнаружено уменьшение коэффициента отражения при падении электромагнитного излучения с ненапыленной стороны полотна. Установлено, что при использовании такой конструкции экран отражает в среднем в 1.4 раза больше электромагнитной энергии, чем в случае установки трикотажного полотна ненапыленной стороной к источнику. В то же время коэффициент передачи экрана с ненапыленной стороны не больше, чем с напыленной. Это указывает на то, что при падении электромагнитной волны на ненапыленную сторону экрана ослабление ее за счет поглощения больше, чем при падении на напыленную.

Также исследованы экранирующие характеристики псевдопирамидальных конструкций, полученных из напыленного плоского материала, с высотой гофра 5, 7, 12 mm на фиксированной частоте 9.5 GHz. Было замечено увеличение коэффициентов передачи и отражения на 2...3 dB, причем с увеличением высоты гофра увеличиваются и экранирующие характеристики.

Установлено, что на дифрактограмме синтезированного материала, полученной с ненапыленной стороны образца, кроме пика, обусловленного влиянием подложки — модифицированного полиакрилонитрила

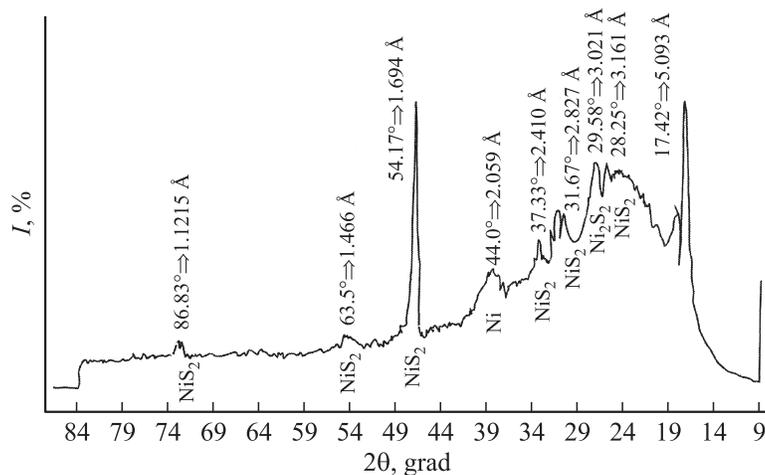


Рис. 2. Дифрактограмма напыленных никелем волокон полиакрилонитрила с напыленной стороны.

(межплоскостное расстояние 5.069 Å) присутствуют пики, соответствующие соединениям NiS₂, Ni₂S₂, Ni₃S₂ (рис. 1). При структурном анализе напыленной стороны кроме этих пиков присутствует рефлекс, который указывает на наличие в покрытии металлического никеля кубической модификации (рис. 2).

По мнению авторов, именно присутствие кристаллического никеля на поверхности напыленной стороны обуславливает увеличение коэффициента отражения при падении на нее электромагнитного излучения. Граница раздела полиакрилонитрил–никель имеет геометрически более неоднородную структуру, что приводит волокна к увеличению поглощения.

Заключение. В результате исследований обнаружено, что трикотажные полотна с нанесенными никелевыми покрытиями обладают различными свойствами поглощения электромагнитного излучения в зависимости от условий эксплуатации. Разработанные полотна используются в качестве внешнего слоя для конструирования многослойных экранирующих материалов, что позволило получить многослойные эластичные конструкции ЭМИ с $K_{СВ}$ — 1.5 при коэффициенте ослаб-

ления 20–23 dB в интервале частот 1.5–115 GHz. Обнаруженные особенности взаимодействия эластичных конструкций с электромагнитным излучением позволяют применять их при разработке высокоэффективных широкополосных радиопоглощающих покрытий.

Список литературы

- [1] *Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П.* и др. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Под ред. Л.М. Лынькова. Минск: БГУИР, 2000.
- [2] *Богуш В.А., Завадский С.М., Лыньков Л.М.* и др. // Изв. Белорусской инженерной академии. 1999. № 1 (7)/2. С. 171–174.
- [3] *Голерик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А.* Рентгенографический и электрооптический анализ. М.: Металлургия, 1970. 108 с.
- [4] *Елизаров А.С., Кострикин А.М., Гусинский А.В.* и др. // Радиотехника и электроника. 1996. Т. 41. № 5. С. 602–610.