

КОЭФФИЦИЕНТЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ AL-FE-NI И AL-CU-FE-NI ГИБКИХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Д. Гладинов, аспирант кафедры защиты информации

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь*

Приведены результаты исследований взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с тонкопленочными экранами на основе систем Al-Fe-Ni и Al-Cu-Fe-Ni. Установлены закономерности изменения значений коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения экранов в зависимости от состава покрытий. Также проведены масс-спектральные анализы данных покрытий и исследована их топография.

Ключевые слова: *покрытия систем Al-Fe-Ni и Al-Cu-Fe-Ni, элементный состав, электронно-лучевое испарение, экранирование электромагнитного излучения.*

Введение. В настоящее время для изготовления экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) применяются электропроводящие покрытия, формируемые вакуумным или гальваническим методами [1–3]. Многослойные покрытия, полученные этими методами, представляют собой последовательно нанесенные слои толщиной от нескольких нанометров до сотен микрометров, выполненные из электропроводящих и/или из магнитных материалов. В настоящей статье рассмотрены многослойные покрытия, состоящие из слоев магнитных сплавов системы Fe-Ni и из электропроводящих на основе Al и Cu, сформированных методом электронно-лучевого испарения.

Материалы и методики исследований. В качестве полимерной основы для исследований и нанесения покрытий была выбрана пленка Kotar IZOFOLIX [4]. Данная пленка имеет толщину 105 мкм и представляет собой многослойную структуру, один из слоев которой выполнен из Al толщиной 150 нм.

Для нанесения покрытий использовалась электронно-лучевая установка ВУ-1А. Данная установка позволяет формировать покрытия из магнитных и тугоплавких материалов, равномерной толщины. Для нанесения использовали медь марки М0, сплав железо-никель Fe50Ni50 и алюминий марки А999. Для исследования элементного состава и топографии покрытия устанавливались контрольные образцы из монокристаллического кремния (111), толщина магнитных слоев системы Fe-Ni составляла 150 нм, толщины слоев из Al и Cu также составляли по 150 нм. Исследование элементного состава и топографии поверхности выполнялось на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3, оснащенный системой энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments AZtecLive Standard с безазотным детектором Ultim MAX 100. Измерение значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ экранами проводилось в диапазоне частот 2,0...17 ГГц. Для этого использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0.01–18.

Результаты и их обсуждение. Значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2...17 ГГц экраном с покрытием системы Fe-Ni изменяется в пределах от –0,22 дБ до –6,22 дБ, а экраном с покрытием системы Cu-(Fe-Ni) – от –0,32 дБ до –12,9 дБ (рис. 1). Установлено, что у экрана с покрытием системы Cu-(Fe-Ni) значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 6...8 ГГц, 9...10 ГГц, 11...12 ГГц и 15...16 ГГц резко увеличиваются.

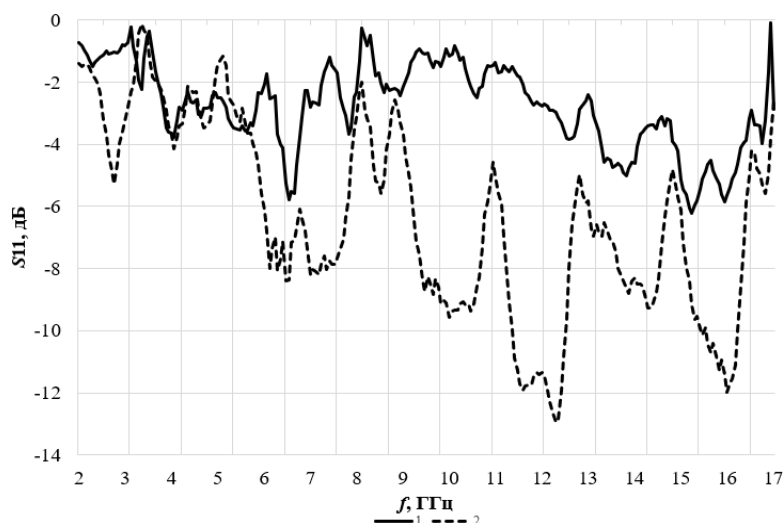


Рисунок 1. – Частотные зависимости коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2,0...17 ГГц экрана с покрытиями: 1 – Fe-Ni, 2 – Cu-(Fe-Ni)

Значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 2...17 ГГц экрана с покрытием из системы Fe-Ni изменяется от –31,6 дБ до –13,9 дБ, а экрана с покрытием системы Cu-(Fe-Ni) от –29,1 дБ до –18,0 дБ (рис. 2).

Таким образом, нанесение на экран с покрытием системы Fe-Ni дополнительного слоя Cu позволяет снизить значение коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 7...17 ГГц. Данное явление связано с увеличением коэффициента отражения ЭМИ экрана в указанном диапазоне частот.

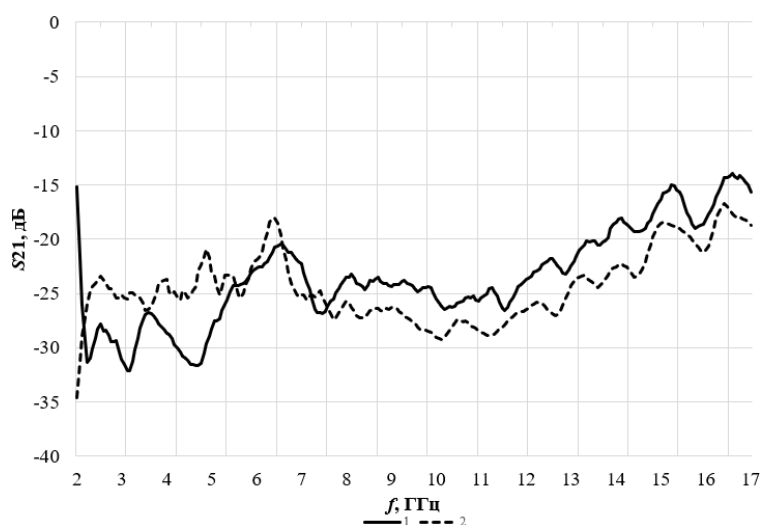


Рисунок 2. – Частотные зависимости коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 2,0...17 ГГц для экрана с покрытием 1 – Fe-Ni, 2 – Cu-(Fe-Ni)

Топография поверхности слоев Fe-Ni представлена на рис. 3.

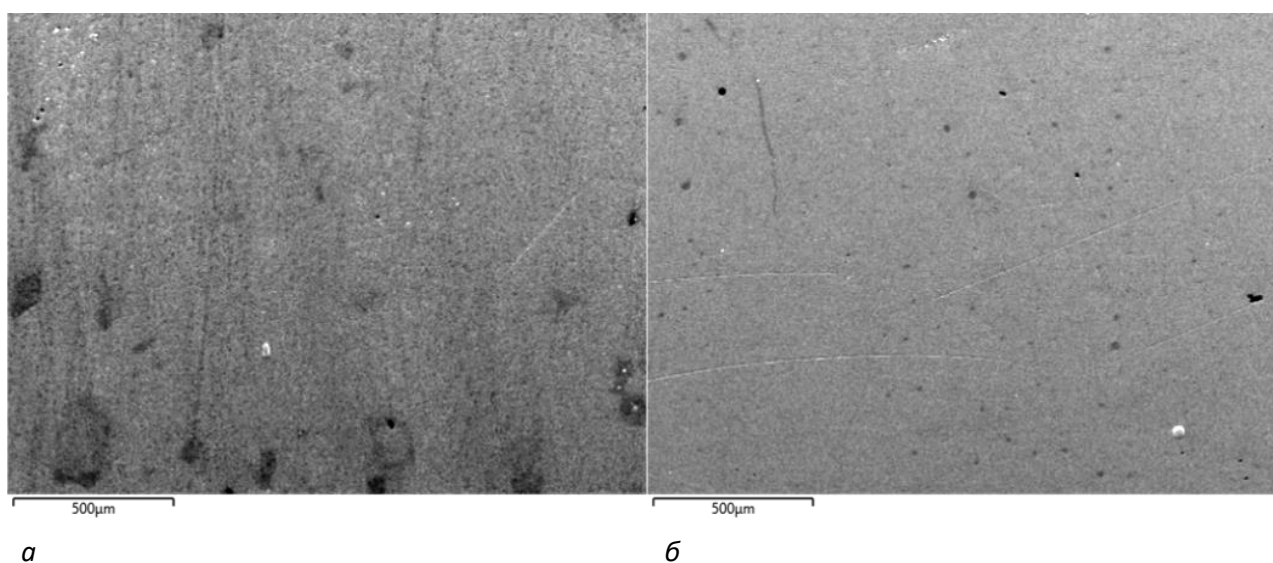


Рисунок 3. – Топография поверхности покрытий Al-Fe-Ni (а) и Al-Cu-Fe-Ni (б)

Результаты исследований элементного состава поверхностных слоев покрытий систем Al-(Fe-Ni) и Al-Cu-(Fe-Ni) представлены на рис. 4.

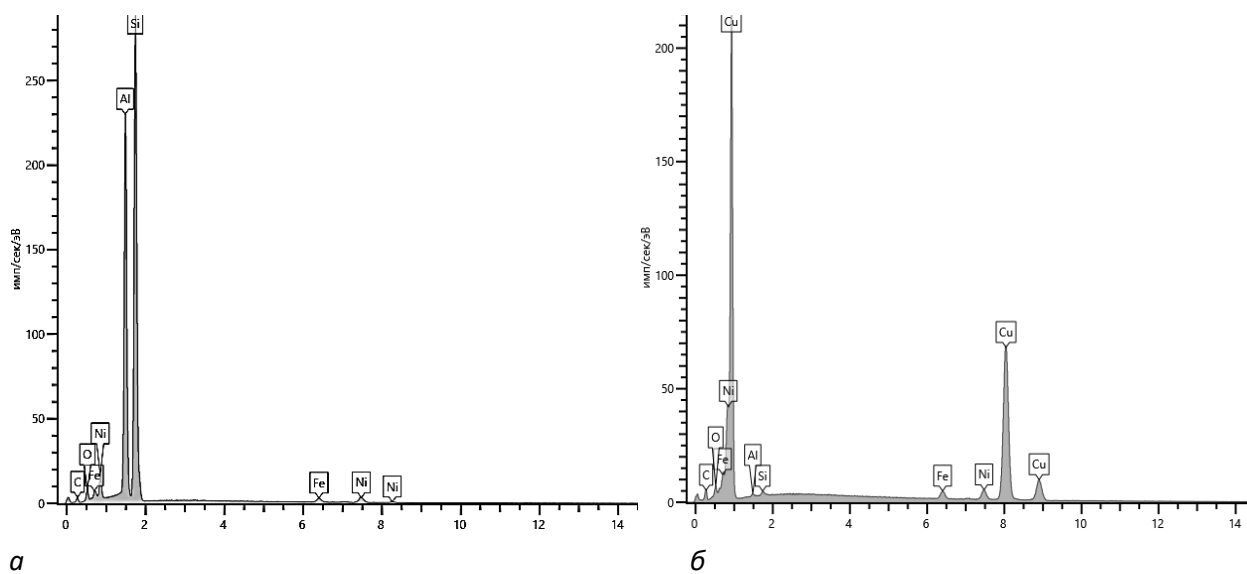


Рисунок 4. – Спектрограммы покрытий систем Al-Fe-Ni (а) и Al-Cu-Fe-Ni (б)

Средние значения элементов в покрытиях исследованных экранов представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. – Средние значения содержания элементов в покрытиях системы Fe-Ni

Объект	Содержание, масс. %					
	Основных элементов			Примесей		
	Al	Fe	Ni	C	O	Si
Покрытие системы Ni	27.35	1.86	3.57	11.35	5.07	50.79

Таблица 2 – Средние значения содержания элементов в покрытиях системы Cu-Fe-Ni

Объект	Содержание, масс. %						
	Основных элементов				Примесей		
	Al	Cu	Fe	Ni	C	O	Si
Покрытие системы Al-Cu-Fe-Ni	0.30	84.78	1.79	3.96	7.40	1.40	0.37

Заключение. По результатам исследований можно сделать вывод, что нанесение дополнительного слоя Cu позволяет снизить коэффициент передачи электромагнитного излучения до 5 дБ в диапазоне частот 7...17 ГГц. Исследованные экраны могут быть использованы для защиты приборов электронной техники, элементная база которых чувствительна к воздействию электромагнитных помех СВЧ-диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vega, J. Evaluation of the open porosity of PVD coatings through electrochemical iron detection / J. Vega, H. Scheerer, G. Andersohn, M. Oechsner // Surface and Coatings Technology. – 2018. – Vol. 350. – P. 453–461.
2. Zhang, B.C. Failure and life evaluation of EB-PVD thermal barrier coatings using temperature-process-dependent model parameters / B.C. Zhang, Kuiying Chen, N. Baddoura, P.C. Patnaik // Corrosion Science. – 2019. – Vol. 156. – P. 1–9.
3. Hoche Holger. Development of new PVD coatings for magnesium alloys with improved corrosion properties / Holger Hoche, Stefan Groß, Matthias Oechsner // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Vol. 259. – P. 102–108.
4. Изоляционная фольга IZOFOLIX [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kotar.pl/ru/oferta/folieizolacyjne/108-fol%C2%A1a-izolacyjna-izofol%C2%A1x-rus>. – Дата доступа: 25.10.2024.