

топографией и физическими свойствами поверхности, что расширяет области применения алюминиевых сплавов.

Литература

1. Белеванцев, В.И. Микроплазменные электрохимические процессы. Обзор / В.И. Белеванцев, О.П. Терлеева, Г.А. Марков // Защита металлов. – 1998. – Т. 34. – № 5. – С. 469–484.
2. Области применения и свойства покрытий, получаемых микродуговым оксидированием / Э.С. Атрощенко [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1996. – № 3. – С. 8–11.
3. Состав и структура упрочненного поверхностного слоя на сплавах алюминия, получаемого при микродуговом оксидировании / В.А. Федоров [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1988. – № 4. – С. 92–97.
4. Богута, Д.Л. Формирование при потенциалах искрения Р- и Ni-содержащих анодных покрытий на сплаве алюминия // Д.Л. Богута [и др.] / Журнал прикладной химии. – 2000. – № 8. – С. 1296–1300.
5. Гнеденков, С.В. Износостойкие и жаростойкие покрытия на поверхности алюминия / С.В. Гнеденков, О.А. Хрисанфова, А.Г.Завидная // Журнал прикладной химии. – 2000. – № 4. – С.541–547.
6. Дорфман, А.М. Формирование координационных связей на границе оксид алюминия – полипропилен / А.М. Дорфман, А.М.Ляхович, С.М. Решетников // Защита металлов. – 1998. – Т. 34. – № 2. – С. 134–138.

М.А. Подалов, И.В. Семченко

**УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Беларусь**

СОЗДАНИЕ ПЛАНАРНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОМЕГА-ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ВАКУУМНО–ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время в мире проводятся многочисленные исследования метаматериалов [1, 2]. К метаматериалам относят такие искусственные структуры, которые обладают свойствами, не встречающимися у природных материалов. Объектом нашего исследования является омега-элемент как составляющая метаматериалов. Искусственные омега-структуры не являются

киральными, но обладают магнитоэлектрическими свойствами. Основными предметами исследования являются коэффициент эллиптичности, мощность отраженной и прошедшей волн. Оптимальные параметры омега-элемента были рассчитаны ранее с помощью моделей квазистационарного и гармонического тока [3].

Используя метод распыления вещества на подложку с помощью магнетрона, образованную фторопластом и полиамидом, получены материалы, обладающие свойствами метаматериалов. На подложку из фторопласта или полиамида распылялась медь через маску, содержащую 24 выреза омегаподобной формы. После использования магнетронного распыления получены две плоские двумерные анизотропные решетки (рисунок 1). Исследована эллиптичность волн при отражении от экспериментальных образцов.

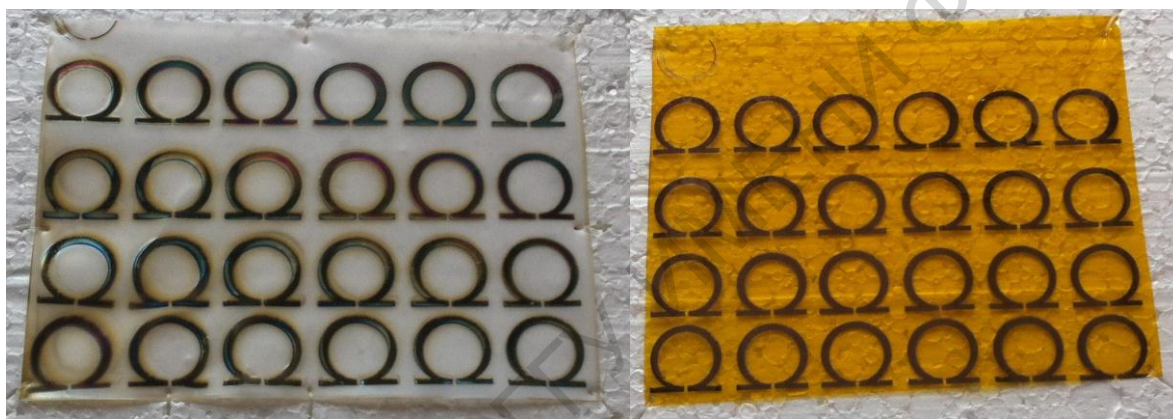


Рисунок 1 – Изготовленные образцы с омега-структурами
(а – фторопласт; б – полиамид)

Структуры исследовались в безэховой камере, в частотном интервале $2,5 \div 3,8$ ГГц. Вектор напряженности электрического поля \vec{E} направлен по оси X, т.е. вдоль плеч омега-элемента. Волновой вектор \vec{k} направлен под углом 45 градусов к плоскости решетки.

Изготовлены два образца, содержащие омега-элементы со следующими параметрами:

$$r=6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}, L=0,05 \text{ м}, d=15,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}, a=7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где r – радиус витка, d – толщина прорези, a – расстояние между плечами в образце.

Проведены исследования коэффициента эллиптичности электромагнитной волны, отраженной от образца, в зависимости от частоты падающего излучения. Коэффициент эллиптичности

К отраженной волны вычисляли непосредственно из поляризационной диаграммы как отношение минимального и максимального значений уровня сигнала, которые определяли по индикаторам приемника. В результате проведенных экспериментов в безэховой камере была получена зависимость коэффициента эллиптичности К отраженной волны от частоты падающей волны.

В процессе эксперимента плечи омега – структуры лежали в плоскости падения. Исследовали два случая. В первом случае колебания вектора напряженности электрического поля перпендикулярны плечам омега-элементов (рисунок 2).

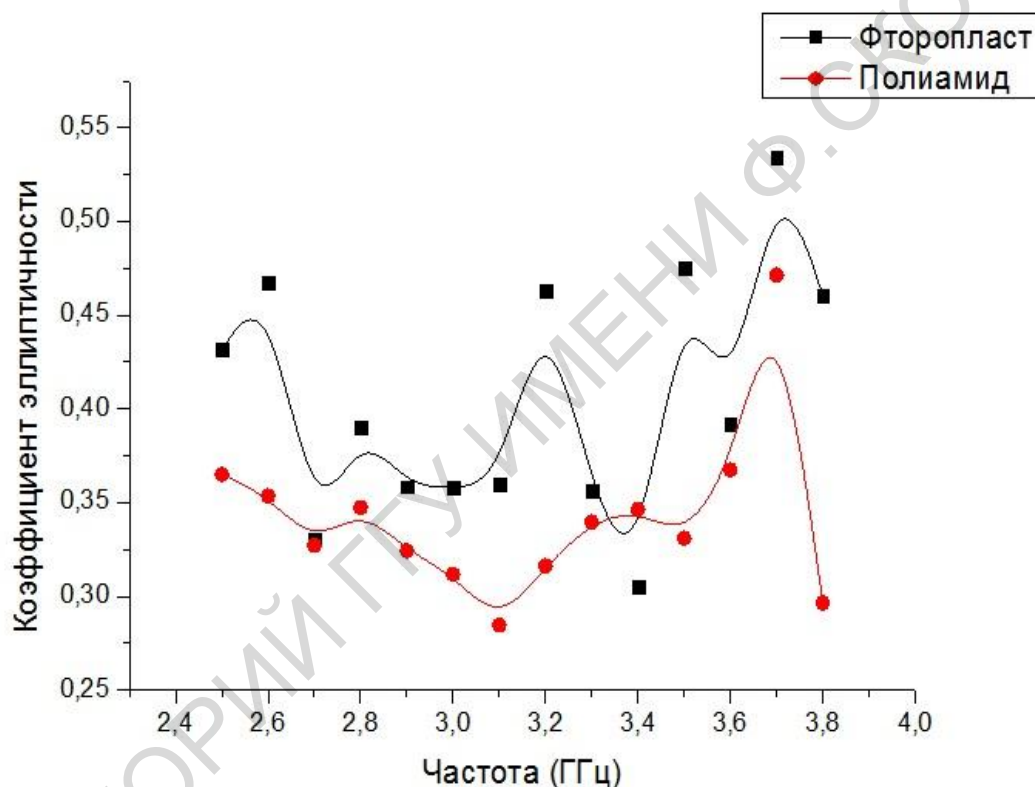


Рисунок 2 – График зависимости коэффициента эллиптичности электромагнитной волны, отражённой от двумерной решетки, образованной 24 омега-элементами, от частоты сигнала

Во втором случае вектор напряженности электрического поля падающей волны ориентирован параллельно плечам омега-элемента (рисунок 3).

Как видно из графиков, коэффициент эллиптичности достигает значения $K=0,57$ на частоте 3,7 ГГц и $K=0,41$ на частоте 2,6 ГГц (рисунок 2) для фторопласта, $K=0,37$ на частоте 3,8 ГГц и $K=0,47$ на частоте 3,7 ГГц (рисунок 3) для полиамида.

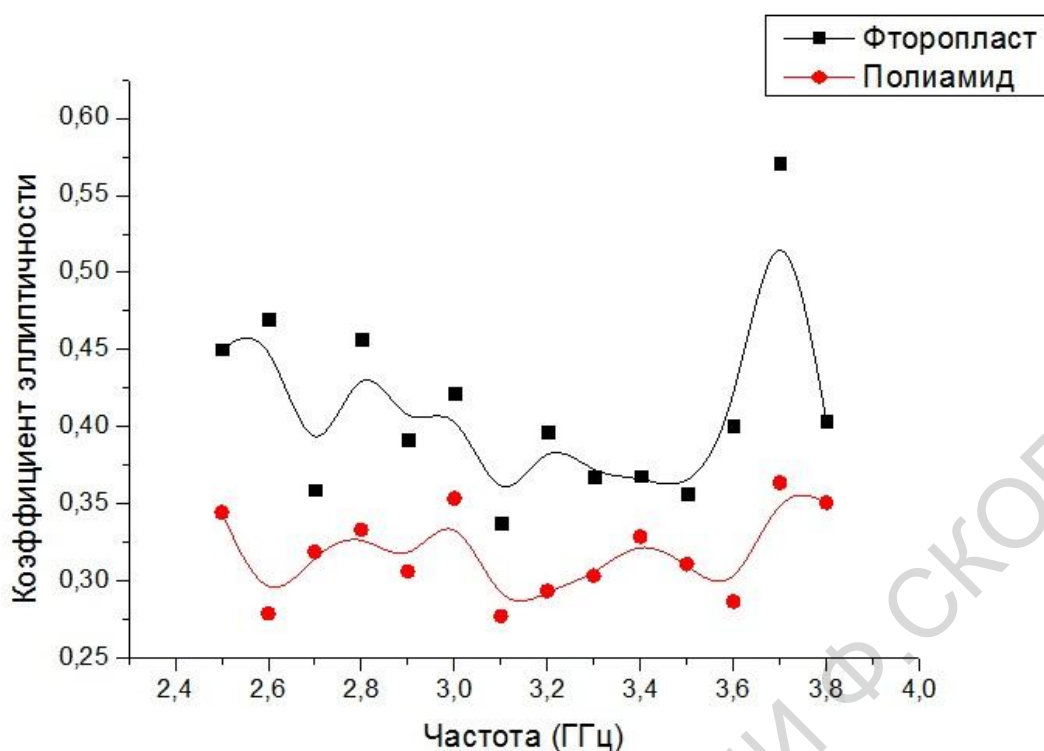


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента эллиптичности электромагнитной волны, отражённой от двумерной решетки, образованной 24 омега-элементами, от частоты сигнала

Использование вакуумно-плазменных технологий магнетронного распыления на полимерные подложки, образованные полиамидом и фторопластом, позволило создать метаматериалы с поляризационными свойствами. Данный вид метаматериалов образован тонкой пленкой распыленного металла (меди) на полимерную подложку, в виде 24-х омега-элементов оптимальной формы. Исследования в безэховой камере, в сантиметровых волнах СВЧ диапазона, показали способность двумерных решеток на основе полиамида и фторопласта преобразовывать линейнополяризованный сигнал с наибольшей эллиптичностью $K=0,53-0,57$ на частоте 3,7 ГГц на фторопластовой подложке и наибольшей эллиптичностью $K=0,36-0,47$ на частоте 3,7 ГГц на полиамидной подложке. Отличия в поляризационных свойствах обусловлены различной диэлектрической проницаемостью подложек, у фторопласта $\epsilon=2,1$ и у полиамида $\epsilon=4$. Данный метод нанесения метаматериалов на полимерные подложки обладает рядом преимуществ перед другими методами получения метаматериалов: отличается относительно высокой точностью в изготовления образцов; возможно промышленное производство, т.к. планарное расположение элементов позволяет наносить элементы на

большие поверхности не меняя существенно производственный цикл, нанесение пленок требует значительно меньшего количества распыляемого материала, чем при других методах изготовления.

Литература

1. Advances in Complex Electromagnetic Materials / A. Priou [et al.] // Kluwer Academic Publishers, 1997. – Vol. 28. – P. 32–37.
2. Electromagnetics of bi-anisotropic materials: Theory and applications, / A.N. Serdyukov [et al.] // Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 2001. – P. 308–321.
3. Подалов, М.А. Оптимальная форма омега-включений для метаматериалов / М.А. Подалов, И.В. Семченко // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2009. – № 4. – Ч. 2. – С.172–176.

И.У. Примак, А.В. Хомченко, И.А. Корнеева

Белорусско-Российский университет, Беларусь

МЕТОДЫ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ НА КРЕМНИИ

Оптические исследования наноразмерных покрытий представляют определенный интерес для микро- и оптоэлектроники. По мере развития нанотехнологии все более необходимыми становятся методы неразрушающего многопараметрического определения свойств структур [1, 2]. При этом рассматриваемые структуры часто являются неоднородными, диэлектрическая проницаемость каждого слоя которых описывается некоторой функцией (и необязательно имеет ступенчатый характер), поэтому развитие существующих оптических методов измерения для оценки параметров наноразмерных слоев является актуальной задачей.

1. ПЭВ-спектроскопия металлических слоев

Одним из методов контроля параметров металлических слоев является ПЭВ-спектроскопия, основанная на обработке угловой зависимости коэффициента отражения светового пучка $R(\gamma)$ при возбуждении плазмонных мод. Благодаря локализации в окрестности поверхности металла ПЭВ крайне чувствительны к состоянию