

## Разработка покрытия, защищающего от электромагнитных волн

Г.С.Лучкин<sup>1</sup>, Р.Р. Мазитова<sup>1</sup>, Д.А.Веденькин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ

**Аннотация:** В статье рассматривается процесс нанесения радиопоглощающего покрытия на поверхность пластика. Вакуумные плазменные методы предоставляют возможность эффективно наносить тонкие пленки на различные поверхности. Рассмотрены основные параметры, влияющие на качество и эффективность свойств нанесенных покрытий.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, тонкие пленки, технология нанесения, радиопоглощающее покрытие, экранирование излучения, магнетрон.

В последние десятилетия современные технологии все больше сталкиваются с проблемой электромагнитных помех. Быстрое развитие радиоэлектроники и беспроводных коммуникаций приводит к увеличению количества источников электромагнитных излучений [1]. Для снижения этих помех и предотвращения негативных воздействий на окружающую среду, людей и электронные компоненты, необходимо нанесение радиопоглощающего покрытия на поверхность различных материалов. В нашей стране и за рубежом проводились исследования по созданию радиопоглощающих покрытий [2-4]. Одним из наиболее эффективных методов нанесения такого покрытия является вакуумно-плазменный метод [5-6].

Напыление проводилось на вакуумной установке ВУ-700 на рис. 1.



Рис. 1. – Вакуумная установка ВУ-700

В качестве образца для напыления была выбрана подложка из полипропилена.

На первый образец было нанесено покрытие нитрида алюминия.

После закрепления образца на карусели подложек был запущен цикл откачки вакуумной камеры. Затем был открыт высоковакуумный затвор, и выполнена откачка камеры до предельного вакуума  $4 \cdot 10^{-4}$  мм.рт.ст. По достижению высокого вакуума в камеру был проведен напуск технологического газа (азот) до давления 12 Па. После установившегося давления рабочего газа был включен источник питания магнетрона, зажжен разряд. Параметры разряда составили: напряжение - 195 В, ток - 0,6 А. Распыление мишени проводилось в течение 20 минут.

На второй образец было нанесено покрытие металлического титана. В этом случае распыление титановой мишени проводилось в среде аргона. В результате на поверхности образца мы получили равномерное покрытие металлического титана.

В этом случае параметры разряда магнетрона составили: напряжение – 288 В, ток – 4 А. Напыление проводилось в течение 7 минут.

Оценка результатов напыления.

Исследование нанесенных покрытий нитрида алюминия и металлического титана проводилось в лаборатории микроволновых технологий кафедры «Радиофотоники и микроволновых технологий» КНИТУ-КАИ.

Предварительно, нами были проведены измерения эталонного экранирующего образца, который полностью экранирует электромагнитное излучение. Наши образцы исследовались в диапазоне частот от 4 до 8 ГГц. В этом же диапазоне исследовался и эталонный экранирующий образец. Проведённые измерения показали, что в данном диапазоне частот, коэффициент передачи составил 43-46 дБ. Результат измерения

---

коэффициента передачи электромагнитных волн через эталонное экранирующее покрытие представлен на рис. 2.



Рис. 2. – Результат измерения эталонного образца

Для сравнения в этом же диапазоне частот было проведено измерение сигнала в свободном пространстве при отсутствии образцов. Результат представлен на рис. 3.



Рис. 3. – Результат измерения «нулевого» образца

В свободном пространстве коэффициент передачи электромагнитного поля составил 23-33 дБ.

Измерение образца с покрытием из нитрида алюминия показало, что значения коэффициента передачи не изменились по сравнению со свободным

пространством и составляют также 23-33 дБ, что соответствует отсутствию экранирующих свойств. Результат представлен на рис. 4.



Рис. 4. – Результат измерения образца с покрытием из нитрида алюминия

Измерение образца с покрытием из металлического титана показало снижение коэффициента передачи на величину порядка 5 дБ во всем диапазоне измеряемых частот. Значения коэффициента передачи в этом случае составили порядка 27-38 дБ, что указывает на наличие защитного эффекта в указанном диапазоне. Результат представлен на рис. 5.



Рис. 5. – Результат измерения образца с покрытием из металлического титана

Результат исследованных покрытий, полученных вакуумно-плазменным методом, показал, что образец с покрытием из нитрида

алюминия, коэффициент передачи сквозь который не изменился по сравнению со случаем свободного пространства, не является экранирующим, а образец с покрытием из металлического титана, вносящим дополнительное затухание величиной порядка 5 дБ указывает на наличие поглощения. Данные выводы сделаны из анализа сравнений случая свободного пространства, имеющего в диапазоне частот прошедшего сигнала коэффициент передачи 23-33 дБ, и эталонного образца, коэффициент передачи для которого составил 43- 46 дБ. Также следует отметить, что применение методов, описанных в работах [7,8] позволит повысить точность проводимых оценок. Подходы, описанные в работе [9,10] также могут быть использованы для достижения цели, поставленной в данной статье.

### Литература

1. Anders, A. Discharge physics of high power impulse magnetron sputtering // *Surface & Coatings Technology*. – 2011. – v. 205. – pp. 1–9.
  2. Кузьмичёв А.И. Магнетронные распылительные системы // Киев: «Аверс», 2008. С. 141.
  3. Андриященко М.С., Козырев С.В., Кудрявцев В.П., Луцев Л. В., Слугин В.А., Старобинец И. М., Штагер Е.А. Радиопоглощающий материал и способ получения радиопоглощающего покрытия. Патент РФ 2012124162/05, 01.06.2012. Патент России № 2 502766. 01.06.2012. Бюл.№ 36.
  4. Nanan, J.-C., Tao, J.-W., Baudrand, H., Theron, B. A Two-Step Synthesis of Broadband Ridged Waveguide Bandpass Filter with Improved Performances // *IEEE Transaction. on Microwave Theory and Techniques*, 1991. – V. 39. – N 12. – pp. 2192-2197.
  5. Веденькин, Д. А., Шаронов Д.Е. Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне // *Инженерный*
-

- вестник Дона. – 2017. – № 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4233](http://ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4233).
6. Марков В. Ф., Маскаева Л.Н., Иванов П.Н., Гидрохимическое осаждение пленок сульфидов металлов: моделирование и эксперимент // Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 218 с.
7. Ahmed R., Ali O., Berndt C. C, Fardan A., Thern J.. Spray Technol. 2021, pp. 30, 800.
8. Веденькин Д. А., Седельников Ю. Е. Прямые и обратные задачи для широкополосных антенных решеток, функционирующих в зоне ближнего излученного поля // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 2. С. 71-85. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-071-085
9. Luchkin A.G., Hakki A, Rahimov N. F. Plasma technologies application for building materials surface modification / [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. Vol. 789, No. 1. – P. 012074. – DOI 10.1088/1742-6596/789/1/012074. – EDN YVKLSP.
10. Silva MWB, Kretly LC. A new concept of RAM Radiation Absorbent Material: Applying corrugated surfaces to improve reflectivity. 2011 SBMO.IEEE MTT.S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011). 2011. p. 556-560.

### References

1. Anders, A. Surface & Coatings Technology. 2011. v. 205. p. 1–9.
  2. Kuzmichev A.I. Magnetronnyye raspylitelnyye sistemy. Kiyev: «Avers». 2008. P. 141.
  3. Andryushchenko M.S., Kozyrev S.V., Kudryavtsev V.P., Lutsev L. V., Slugin V.A., Starobinets I. M., Shtager E.A. Radiopogloshchayushchiy material i sposob polucheniya radiopogloshchayushchego pokrytiya [Radio-absorbing material and method of obtaining a radio-absorbing coating]. Patent RF 2012124162/05. 01.06.2012. Patent Rossii № 2 502766 . 01.06.2012. Byul.№36.
  4. Nanan, J.-C., Tao, J.-W., Baudrand, H., Theron, B. n Microwave Theory and
-



- Techniques, 1991. V. 39. N 12. pp. 2192-2197.
5. Vedenkin D. A., Sharonov D.E. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4233](http://ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4233).
6. Markov V. F., Maskayeva L.N., Ivanov P.N. Gidrokhimicheskoye osazhdeniye plenok sulfidov metallov: modelirovaniye i eksperiment [Hydrochemical deposition of metal sulfide films: modeling and experiment]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2006. 218 p.
7. Ahmed R., Ali O., Berndt C. C, Fardan A., Therm J. Spray Technol. 2021, pp. 30, 800.
8. Veden'kin D. A., Sedel'nikov Ju. E. Sistemy upravleniya, svjazi i bezopasnosti. 2024. № 2. pp. 71-85. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-071-085
9. Luchkin A. G., Hakki A., Rahimov N. F. [et al.] Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 789, No. 1. P. 012074. DOI 10.1088/1742-6596/789/1/012074. – EDN YVKLSP.
10. Silva MWB, Kretly LC. A new concept of RAM Radiation Absorbent Material: Applying corrugated surfaces to improve reflectivity. 2011 SBMO.IEEE MTT.S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011). 2011. p. 556-560.

**Дата поступления: 28.05.2024**

**Дата публикации: 8.07.2024**