

## Методы нанесения радиопоглощающих покрытий

*Г.С.Лучкин<sup>1</sup>, Р.Р. Мазитова<sup>2</sup>*

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

*<sup>2</sup>АО Радиоприбор*

**Аннотация:** Радиопоглощающие покрытия (РПП) становятся все более актуальными в условиях быстрой эволюции технологий радиосвязи и борьбы с электромагнитными помехами. Рассмотрены современные методы нанесения РПП, их преимущества и недостатки, а также перспективы развития технологий.

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

В современных условиях развития технологий радиосвязи и обработки информации все более актуальной становится задача снижения электромагнитного излучения и защиты от радиочастотных помех. Радиопоглощающие покрытия представляют собой эффективный способ достижения этих целей [1]. Такие покрытия представляют собой материал, предназначенный для уменьшения отражения радиоволн и повышения эффективности электромагнитной совместимости. В состав таких покрытий, как правило, включаются ферромагнитные и диэлектрические элементы, которые поглощают радиочастотную энергию. Такие покрытия могут быть использованы в различных областях, включая военное дело, телекоммуникации и медицинскую технику. В данной статье описаны основные методы нанесения радиопоглощающих покрытий. Одним из методов нанесения радиопоглощающих покрытий является метод осаждения из паровой фазы. Метод физического осаждения из паровой фазы относится к категории методов роста тонких пленок из газообразной среды. Процесс осуществляется в условиях вакуума [2].

Изначально, материал покрытия находится в твердом состоянии и подвергается процессу испарения или распыления [3]. Полученные пары

---

материала транспортируются и осаждаются на поверхности подложки, образуя тонкое покрытие с характеристиками, отличными от свойств подложки.

В целом, процесс нанесения покрытия можно разделить на три этапа: распыление материала покрытия; извлечение материала в газовой фазе; осаждение материала на поверхности подложки для формирования тонкой пленки. В качестве основы для нанесения покрытий могут использоваться чистые металлы, такие, как железо, медь и алюминий, металлические сплавы и модификации, например, сталь, бронза, и их гибриды или композитные материалы. Также могут применяться полимерные материалы, такие, как политетрафторэтилен, нейлон, полиалкиламиды, полиарамида [4].

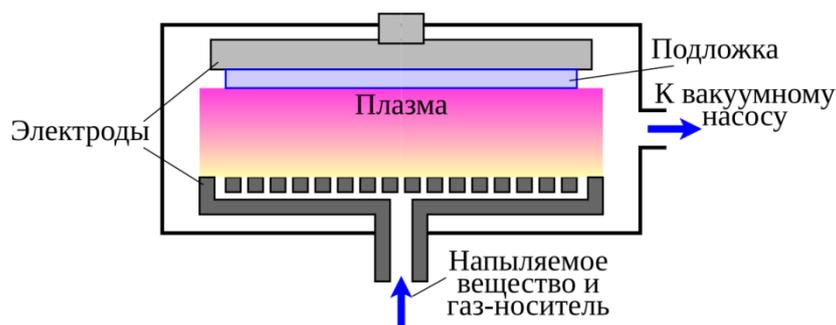


Рис. 1. – Схема осаждения

Этот метод позволяет контролировать толщину и состав покрытия, обеспечивает равномерное распределение материала по поверхности, а также дает возможность использования различных радиопоглощающих материалов. Недостатками данного метода являются: высокая стоимость оборудования, сложность настройки параметров процесса, длительность процесса осаждения и ограниченная толщина покрытия [5].

Следующим методом нанесения радиопоглощающего покрытия является химический. Это процесс, при котором специальные химические вещества осаждаются на поверхность материалов для улучшения их радиопоглощающих свойств. Химические методы включают в себя

создание радиопоглощающих покрытий на основе химических реакций.

Основные из них:

Гидрогелевое нанесение: структуры на основе гидрогелей, которые активируются с помощью влаги. Это позволяет равномерно распределять покрытие на поверхности, что усиливает его радиопоглощающие свойства [6].

Солюция: метод, в котором активные компоненты растворяются в жидкости и затем наносятся на поверхность. Этот метод позволяет создавать сложные структуры и компоненты. При химическом осаждении используются различные материалы, среди которых: кремний, диоксид, карбид, нитрид, оксинитрид, углерод, а также могут быть волокна, нановолокна, нанотрубки, алмаз и графен, фторуглероды, вольфрам и нитрид титана [7].

Данный метод позволяет получить многослойные покрытия, а также хорошие адгезионные свойства. Основным недостатком метода является: длительность процесса осаждения.

Выбор метода нанесения радиопоглощающих покрытий зависит от требований к конечному продукту, таких, как стоимость, сложность технологии, прочность и срок службы покрытия. Например, методы физического осаждения обеспечивают высокое качество покрытия, но имеют высокую стоимость [8].

С внедрением современных технологий, таких как наноматериалы и композитные структуры, открываются новые горизонты для разработки радиопоглощающих покрытий. Так использование графена и других двумерных материалов значительно повышает эффективность радиопоглощающих покрытий [9,10].

Изучение методов нанесения радиопоглощающих покрытий является важным направлением в области материаловедения и радиотехники.

---

Разработка эффективных технологий и материалов позволяет создавать оболочки, которые обеспечивают надежную защиту от электромагнитных помех и способствуют повышению стабильности работы радиосистем. Настоящая статья подчеркивает значимость дальнейших исследований в этой области для повышения эффективности и функциональности промышленных и потребительских устройств.

### Литература

1. Anders, A. Discharge physics of high power impulse magnetron sputtering // Surface & Coatings Technology. – 2011. – V. 205. – p. 1–9.
2. Власенко Е.А., Бокова Е.С., Коваленко Г.М. Разработка радиопоглощающих полимерных материалов и покрытий // Дизайн и технологии. – 2015. – с.49 – 53.
3. Андриющенко 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. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](http://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet).
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. – № 12. – pp. 2192-2197.
5. Лучкин Г.С., Мазитова Р.Р., Веденькин Д.А. Разработка покрытия, защищающего от электромагнитных волн // Инженерный вестник Дона, - 2024. - №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2024/9387](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2024/9387).
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. Sliding Wear of Conventional and Suspension Sprayed Nanocomposite WC-Co Coatings: An Invited Review // Spray Technol. – 2021 – V.30 – p.800-861.

8. Бобкова. Т. И., Гошкодеря М.Е., Савич В.В. Особенности создания функциональных и функционально-градиентных покрытий с уникальным комплексом свойств из композиционных порошков с титановой матрицей // Metallurg. – 2022. – № 11. – С. 79–83.

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. – V. 789, № 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. pp. 1–9.
2. Vlasenko E.A., Bokova E.S., Kovalenko G.M. Dizain i tekhnologii. 2015. pp.49 – 53.
3. Andryushchenko M.S., Kozyrev S.V., Kudryavtsev V.P., Lutsev L. V., Slugin V.A., Starobinets I. M., Shtager E.A. Patent RF 2012124162/05. 01.06.2012. Patent Rossii № 2 502766. 01.06.2012. Byul. №36. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](http://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
4. Nanan, J.-C., Tao, J.-W., Baudrand, H, Theron, B. IEEE Transaction. on Microwave Theory and Techniques. 1991.V. 39.№ 12. pp. 2192-2197.
5. Luchkin G.S., Veden'kin D. A., Mazitova R.R. Inzhenernyj vestnik



Dona. 2024. № 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2024/9387](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2024/9387)

6. Markov V. F., Maskayeva L.N., Ivanov P.N. Ekaterinburg: UrO RAN. 2006. 218 p.

7. Ahmed R., Ali O., Berndt C. C, Fardan A., Therm J. Spray Technol. 2021. V.30. p.800-861.

8. Bobkova. T. I. Metallurg. 2022. № 11. pp. 79–83.

9. Luchkin A.G., Hakki A, Rahimov N. F. Journal of Physics: Conference Series. 2017. т. 789. № 1. с. 012074. DOI: 10.1088/1742-6596/789/1/012074. – EDN YVKLSP.

10. Silva MWB, Kretly LC. SBMO.IEEE MTT.S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 2011). 2011. p. 556-560.

**Дата поступления: 12.01.2025**

**Дата публикации: 25.02.2025**