

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭКРАН, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ РАСТВОРНЫМИ МЕТОДАМИ

**Подорожняк С.А., Адрианова М.А.,  
научный руководитель д.т.н. проф. Патрушева Т.Н.  
Сибирский федеральный университет**

Современные исследования в ряде областей науки (физика, геология, палеонтология, биомагнетизм) и техники (космические исследования, атомная энергетика, материаловедение) часто связаны с измерениями слабых магнитных полей  $\sim 10^{-14}$ – $10^{-9}$  Тл в широком частотном диапазоне. Внешние магнитные поля (например, поле Земли порядка  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл с шумом  $5 \cdot 10^{-12}$  Тл, магнитные шумы от электрических сетей и городского транспорта) создают сильные помехи для работы высокочувствительной магнитометрической аппаратуры. Уменьшение влияния магнитных полей в сильной степени определяет возможности проведения магнитных измерений [1].

Теория экранирования основана на двух фундаментальных принципах – на отражении и поглощении электромагнитных волн при переходе их из одной материальной среды в другую. Оба эти эффекта снижают энергию электромагнитного поля, прошедшую за экран. Чаще всего в качестве материала экрана используется проводник. Идеальный случай, когда проводимость экрана бесконечно высока (импеданс равен нулю). Тогда электрическая компонента напряженности отраженной волны будет равна и противоположна соответствующей компоненте падающей волны. При таких идеальных условиях и экранирование от электрического поля будет идеальным, потому что оба электрических поля – падающее и отраженное взаимно компенсируют друг друга. Однако, у материала с высокой проводимостью но малой магнитной проницаемостью потери на отражение велики.

Можно и несколько иначе сформулировать физический смысл экранирования от электромагнитных помех. В основе экранирования на низких частотах лежат два физических принципа – поляризация и намагничивание материала экрана. На низких частотах экранирование электрических полей основано на эффекте Фарадея (рис. 1).

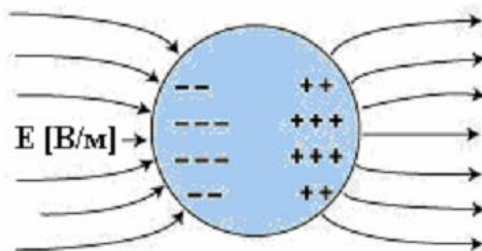


Рис. 1. В металлическом экране индуцируемые заряды создают поле, компенсирующее внешнее поле

Поляризация зарядов в металлической стенке экрана создает поле, компенсирующее внешнее низкочастотное электрическое поле. Поскольку подвижность электронов в металле очень высока, то толщина стенок экрана может быть малой.

В случае действия магнитных полей эффект поляризации не работает, поскольку в природе нет магнитных зарядов. Однако ослабления низкочастотного магнитного поля можно добиться, если в качестве материала экрана взять металл с высокой магнитной проницаемостью ( $\mu \gg 1$ ) и с достаточной толщиной, чтобы силовые линии магнитного

поля прошли в основном в стенках экрана, где реактивное сопротивление для магнитного поля минимально. В экране из металла с высокой проводимостью высокочастотное магнитное поле вызывает вихревые токи, которые в свою очередь создают магнитное поле, направленное навстречу внешнему и компенсирующему его. Толщина экрана в этом случае может быть достаточно тонкой по сравнению с толщиной экрана для низкочастотных магнитных полей и магнитная проницаемость материала экрана не обязательно должна быть высокой. Здесь важна в первую очередь высокая проводимость металла экрана.

Наиболее подходящим материалом, удовлетворяющим этим свойствам, является структура Fe-Ni. Ферромагнитный экран представляет собой лист, цилиндр, сфера (или оболочка какой-либо иной формы) из материала с высокой магнитной проницаемостью  $\mu$  и низкой остаточной индукцией  $B_r$  и малой коэрцитивной силой  $H_c$ .

Использование материалов с высокой магнитной проницаемостью  $\mu = 10^3 - 10^4$  [таких, как пермаллой (36-85% Ni, остальное Fe и легирующие добавки) или мю-металл (72-76% Ni, 5% Cu, 2% Cr, 1% Mn, остальное Fe)] существенно улучшает качество экранов (у железа  $\mu = 200$ ). Кажущийся очевидным способ улучшения экранирования за счёт утолщения стенки не оптимален. Эффективнее работают многослойные экраны с промежутками между слоями. Именно многослойные экраны (внешние слои из магнитных материалов, насыщающихся при высоких значениях  $B$ , внутренние – из пермаллоя или мю-металла) составляют основу конструкций магнитозащищённых комнат для биомагнитных, палеомагнитных и т. п. исследований.

Экраны из материала с высокой электропроводностью (Cu, Al и др.) служат для защиты от переменных магнитных полей, но магнитные экраны из Cu и Al менее эффективны, чем ферромагнитные, особенно в случае низкочастотного электромагнитного поля, но простота изготовления и невысокая стоимость часто делают их более предпочтительными в применении.

Весьма актуально изготовление гибких магнитных экранов на пластмассе. Металлизация пластмасс имеет свои особенности. Для нанесения металлических плёнок на пластмассы не могут быть применены методы, связанные с нагревом [2]. Поэтому нами был применен метод химической металлизации. При этом возникают значительные трудности при химическом нанесении слоев железа. В связи с этим процессы нанесения химического никеля чередовали с процессами электрохимического железнения.

На ПММА и ПВХ были изготовлены образцы покрытий Ni-Fe двухслойного и различных многослойных типов. Слои Ni были нанесены методом химической металлизации на подготовленные пластмассовые подложки. Подготовка подложек заключалась в создании шероховатости для улучшения адгезии плёнок, а также активации и сенсibilизации перед первым нанесением слоя никеля.

Были отработаны технологические режимы химической металлизации с применением раствора соли  $NiCl_2$ , гипофосфита натрия и сегнетовой соли в качестве буферизирующей добавки с применением сенсibilизации раствором хлорида олова и активации раствором хлорида палладия.

Установлено, что предварительная подготовка подложки должна включать создание микрошероховатости подложки для удержания растворов. Первый этап процесса химической металлизации – сенсibilизация – заключается в нанесении тонкого слоя  $SnCl_2$  на диэлектрическую подложку. Технологическая операция выравнивания слоя сенсibilизатора заключалась в погружении подложки в горячую воду с температурой 80–90 °C. Второй этап – активация диэлектрика – производился погружением подложки со слоем сенсibilизатора в раствор  $PdCl_2$ . Определена оптимальная концентрация раствора (0,5 г/л) для формирования тонкого слоя катализатора, который

формируется при восстановлении палладия при окислительно-восстановительной реакции с гидроклоридом олова. Процесс формирования тонкой пленки Ni осуществляли в рабочем растворе  $\text{NiCl}_2$ , гипофосфита натрия и сегнетовой соли в качестве буферизирующей добавки и аммиака для повышения значения pH до 8–10. Использование перемешивания и нагревание раствора привели к получению тонкой равномерной пленки никеля на поверхности пластика.

Попытки осуществить процесс химического железнения не привел к желаемым результатам, поэтому нанесение пленки Fe осуществляли методом электрохимической металлизации. Отработаны технологические режимы электрохимической металлизации никелированного образца в растворе соли  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  при подаче тока около  $20 \text{ mA/cm}^2$ . Нанесение пленки сопровождалось активным перемешиванием для более равномерного осаждения покрытий.

Данная технология позволяет получать структуры с необходимым количеством слоев Fe-Ni, а также регулировать толщину пленок. Нами получены многослойные структуры, которые приближаются по свойствам к свойствам пермаллоя.

Проведено исследование магнитных и магнитооптических свойств полученных образцов, в частности, намагниченность насыщения и константа ПМА измерены методом вращающихся магнитных моментов, а значения коэрцитивной силы получены из МО-петель гистерезиса (рис. 2). На основании полученных данных установлено, что полученные пленки обладают коэрцитивной силой 14–20 Э, которая практически не зависит от толщины слоёв, а также магнитной проницаемостью  $\mu$  более 30.

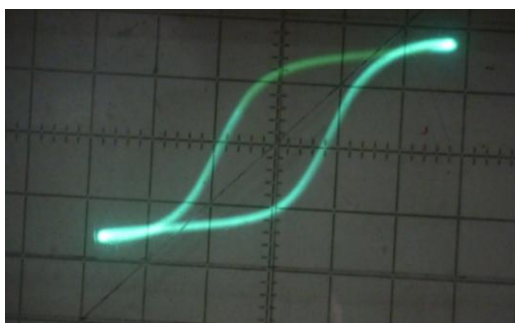


Рис. 2. Магнитная петля гистерезиса пленки Ni-Fe на ПММА

Таким образом, низкотемпературными растворными методами получен гибкий магнитный экран, включающий слои железа и никеля. Гибкий экран может быть использован для защиты чувствительных электронных средств, что чрезвычайно востребовано в современной технике.

#### Список литературы

1. Штамбергер Г. А., Устройства для создания слабых постоянных магнитных полей, Новосибирск, 1972.
2. Шалкаукас М., Вашкялис А., Химическая металлизация пластмасс, Л.: Химия, 1985.