

Рисунок 3 – Зависимость градиента ∇H_{\perp} поля остаточной намагниченности стального изделия после намагничивания от площади $S_{Э}$ поперечного сечения экрана устройства

Технический результат применения устройства: повышение локальности намагничивания контролируемого изделия и остаточной намагниченности контролируемого участка изделия после намагничивания. Это повышает достоверности контроля физико-механических свойств ферромагнитных изделий за счет повышения коэрцитиметрического эффекта метода. Область

применения – измерения в неразрушающем контроле и смежных областях физики и техники.

Литература

1. Гобов, Ю. Л. Измерение коэрцитивной силы в локальной области образца / Ю. Л. Гобов, С. В. Жаков, А. В. Михайлов // Дефектоскопия, 2017. – № 11. – С. 27–32.
2. Сандомирский, С. Г. Применение полюсного намагничивания в магнитном структурном анализе (обзор) / С. Г. Сандомирский // Дефектоскопия, 2006. – № 9. – С. 36–64.
3. Матюк, В. Ф. Приборы магнитной структурографии на основе локального однополярного импульсного намагничивания / В. Ф. Матюк // Неразрушающий контроль и диагностика, 2012. – № 2. – С. 28–64.
4. Универсальный магнитный сортировщик и его применение для решения задач неразрушающего контроля / С. Г. Сандомирский [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 8. – С. 27–31.
5. Сандомирский, С. Г. Анализ чувствительности поле- и градиентометрических датчиков к коэрцитивной силе материала изделия с плоской поверхностью после полюсного намагничивания / С. Г. Сандомирский // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 5. – С. 31–41.

УДК 539.21

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

Сапсалиев Д.В.¹, Петровская А.С.², Мельникова Г.Б.^{1,2}, Аксютчиц А.В.³, Котов Д.А.³,
Радокевич Д.Л.², Чижик С.А.²

¹Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,

²ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси»

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Методом атомно-силовой микроскопии исследована структура покрытий никеля, сформированных методом ионно-лучевого распыления. Изучено влияние различных типов обработки металлического покрытия и его модификации пленками Ленгмюра–Блоджетт на основе полиметилметакрилата.

Ключевые слова: никелевые покрытия, ионно-лучевое распыление, атомно-силовая микроскопия, метод Ленгмюра–Блоджетт, емкостные датчики.

NANOSTRUCTURED NICKEL COATINGS FOR CAPACITIVE SENSORS

Sapsaliou D.¹, Petrovskaya A.², Melnikova G.^{1,2}, Aksyuchits A.³, Kotov D.³,
Radzuikevich D.², Chizhik S.²

¹Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

²A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of NAS of Belarus

³Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Belarus

Abstract. Structural and morphological characteristics of nickel coatings formed by ion-beam sputtering were studied by atomic force microscopy. The effect of different types of metal coating processing and its modification with Langmuir–Blodgett films based on poly(methyl methacrylate) has been studied.

Key words: nickel coatings, ion-beam sputtering, atomic force microscopy, Langmuir–Blodgett method, capacitive sensors.

Адрес для переписки: Мельникова Г.Б., ул. П.Бровки, 15, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: galachka@gmail.com

Введение. Разработка химических сенсоров необходима для упрощения процедуры проведения количественного анализа веществ. В настоящее время классические аналитические методы

замещаются на сенсорные измерения. Помимо очевидных преимуществ миниатюризации, таких как уменьшение габаритов, массы, расхода реагентов, интегрирование в одном чипе нескольких

химических операций, это позволяет также осуществлять пробоподготовку, дозирование, смешивание реагентов, разделение и анализ проб в одном микрочипе. Актуальность разработки сенсорных систем обусловлена появлением новых материалов, позволяющих получить новые результаты, недостижимые ранее; появлением новых методов, применяемых в измерениях, а также новых прикладных задач. Разработка новых методов и оптимизация условий формирования селективных слоев на наноструктурированных металлических поверхностях является перспективной задачей материаловедения в области датчиков нового поколения [1, 2].

Материалы и методы. Покрытия никеля толщиной 216 нм были сформированы методом ионно-лучевого распыления из мишени никеля с чистотой 99,5 %, диаметром 80 мм и толщиной 7 мм. Источник ионов построен по типу ускорителя с анодным слоем, имеет одну ступень для очистки и травления, а вторую для распыления мишени.

Перед напылением никеля была выполнена ионно-лучевая очистка поверхности подложки в течение двух минут в неподвижном режиме, при расходе газа 0,6 л/ч; ток и напряжение разряда составили 52 мА и 1100 В соответственно.

В процессе напыления расстояние мишень – подложка составляло 200 мм, рабочее давление в камере $4 \cdot 10^{-2}$ Па при расходе рабочего газа – аргона 0,9 л/ч. Ток и напряжение разряда составляли соответственно 160 мА и 4500 В. Время напыления составило 25 минут.

Для формирования селективных слоев на поверхности проводящих наноструктурированных покрытий необходима предварительная очистка металлических слоев. Предварительно было изучено влияние обработки этиловым спиртом, хлороформом и гидрофиллизации (в пероксидно-аммиачной смеси в течение 15 мин при температуре 80 °С) поверхности никелевого покрытия.

Формирование тонкого полимерного слоя полиметилметакрилата (ПММА, Sigma-Aldrich, $M_r \sim 10000$) на никелевой гидрофиллизованной поверхности проводили методом Ленгмюра–Блоджетт на установке «Автоматизированный комплекс для модифицирования поверхностей мембран молекулярными и ультратонкими слоями» (Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Беларусь) при поверхностном давлении $\pi = 25$ мН/м из раствора ПММА в хлороформе с концентрацией 1 мг/мл.

Морфологию поверхности контрольных образцов исследовали на атомно-силовом микроскопе (АСМ) NT-206 с использованием кремниевых кантилеверов CSC 21 В (“Mickromasch”, Эстония), средняя жесткость, согласно паспорту производителя, 2 Н/м.

Результаты. Методом атомно-силовой микроскопии было установлено, что для покрытий на основе никеля, сформированных методом ионно-лучевого распыления, характерна доменная структура (рис. 1, а).

Обработка поверхности никелевого покрытия спиртом, хлороформом, а также гидрофиллизация контрольных образцов в пероксидно-аммиачной смеси не приводит к значительным изменениям в структуре металлического слоя (рис 1, б–г).

Предварительная гидрофиллизация контрольных образцов позволяет сформировать плотную однородную ЛБ-пленку полиметилметакрилата на поверхности никелевого слоя (рис. 1, д). Такой тип модификации оказывает влияние и на структурные характеристики поверхности. Так, поверхность образца с полимерной пленкой имеет меньшие значения параметров шероховатости по сравнению с исходной подложкой, что связано с нивелированием влияния собственных дефектов никелевого покрытия при его модификации полимерной ЛБ-пленкой.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственной программы научных исследований на 2021–2025 гг. «Энергетические и ядерные процессы и технологии», подпрограммы «Энергетические процессы и технологии» (задание 2.25).

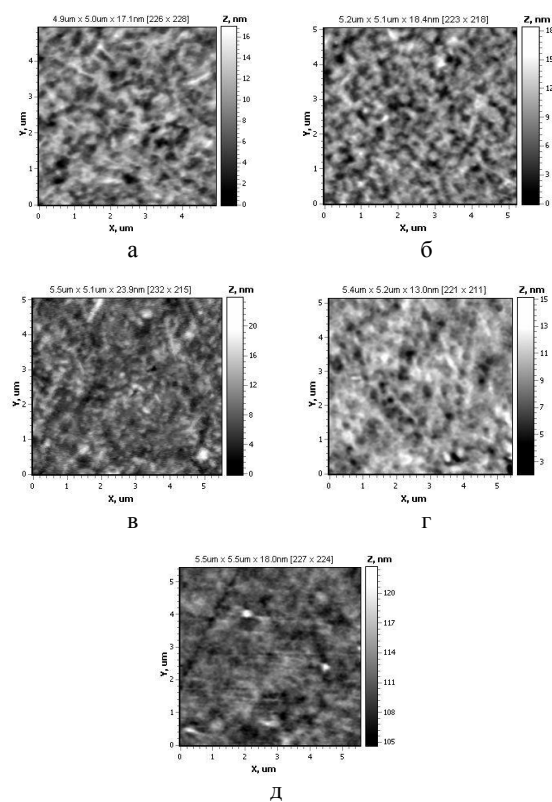


Рисунок 1 – Структура исходного никелевого покрытия (а) и после обработки поверхности спиртом (б), хлороформом (в), и ее гидрофиллизации (г), с ЛБ-пленкой ПММА, (д)

Литература

1. Петрухин, О. М. Сенсоры в аналитической химии / О. М. Петрухин, О. О. Максименко // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). – 2008. – Т. LII, № 2. – С. 3–6.

2. Arshak, K. I. Development of new capacitive strain sensors based on thick film polymer and cermet technologies / K. I. Arshak, D. McDonagh, M. A. Durcan // Sensors and Actuators. – 2000. – Vol. 79. – P. 102–114.

УДК 534-16:534-8:621.9.048.6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ

Степаненко Д.А.¹, Бунчук К.А.², Жуков В.И.³, Роговцова А.С.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²РИУП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

³ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработана механико-математическая модель колебаний кольцевых упругих элементов, используемых в качестве усилителей колебаний по амплитуде. Рассмотрен численный пример расчета кольцевого усилителя колебаний с уклонами торцовых поверхностей. Достоверность полученных результатов подтверждена путем их сравнения с результатами моделирования с помощью метода конечных элементов и путем проверки обобщенного условия ортогональности собственных форм колебаний.

Ключевые слова: упругие колебания, усилитель колебаний, метод гармонического баланса.

APPLICATION OF HARMONIC BALANCE METHOD FOR DESIGN AND MODELLING OF RING-SHAPED AMPLIFIERS OF ELASTIC VIBRATIONS

Stepanenko D.¹, Bunchuk K.², Zhukov V.³, Rogovcova A.¹

¹Belarusian National Technical University

²State Unitary Innovative Enterprise “Science and Technology Park of BNTU “Polytechnic”

³State Institution “Minsk Scientific and Practical Center for Surgery, Transplantology and Hematology”

Minsk, Belarus

Abstract. The article presents mechanico-mathematical model of vibrations of ring-shaped elastic elements used as amplifiers of vibrations’ amplitude. Numerical example of modelling of ring-shaped amplifier with oblique planar surfaces is considered. Validity of the obtained results is proved by comparing them to the results of modelling using finite element method and by checking generalized orthogonality condition for the eigenmodes of vibration.

Key words: elastic vibrations, amplifier of vibrations, method of harmonic balance.

Адрес для переписки: Степаненко Д.А., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: dstepanenko@bntu.by

Усиление упругих, в частности, ультразвуковых, колебаний по амплитуде может осуществляться стержневыми концентраторами в виде прямолинейных стержней с изменяющимися по длине площадью поперечного сечения и/или механическими свойствами материала или с помощью кольцевых упругих элементов, у которых перечисленные характеристики изменяются по длине окружности. Расчет и проектирование усилителей упругих колебаний могут производиться численными, аналитическими и полуаналитическими методами. Примером последних является метод гармонического баланса (МГБ), ранее использованный авторами для расчета и проектирования стержневых концентраторов [1]. В данной работе рассматривается применение МГБ для расчета и проектирования кольцевых усилителей упругих колебаний (рис. 1).

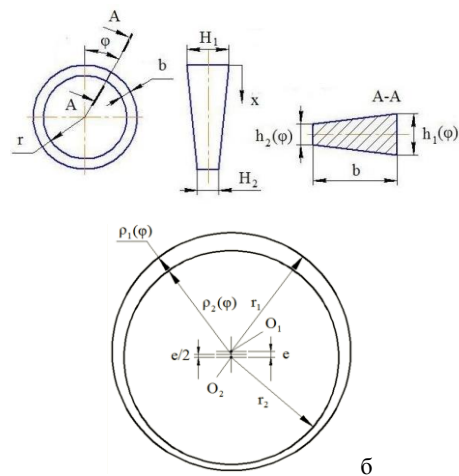


Рисунок 1 – Варианты конструктивного исполнения кольцевых усилителей упругих колебаний