

УДК 669.018:539.213+669.017+669.147

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ЛЕНТ НА ОСНОВЕ CoFe

©Панахов Т. М., д-р физ.-мат. наук, Азербайджанский университет архитектуры и строительства, г. Баку, Азербайджан

©Исаева А. А., докторант, Азербайджанский университет архитектуры и строительства, г. Баку, Азербайджан

©Рефиев Н. М., докторант, Азербайджанский университет архитектуры и строительства, г. Баку, Азербайджан

MAGNETOOPTICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS RIBBON BASED ON CoFe

©Panahov T., Dr. habil., Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

©Isayeva A., doctoral student, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

©Refiyev N., doctoral student, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

Аннотация. В работе исследовались методы получения аморфных лент. С помощью охлаждающего барабана получены аморфные ленты на основе CoFe. Полученные аморфные ленты подвергались отжигу при температуре 420 °С в вакууме и в воздухе. Были исследованы магнитооптические свойства полученных аморфных лент.

Abstract. Methods for the preparation of amorphous tapes were studied and the amorphous tapes based on CoFe were obtained with the aid of a cooling drum. The resulting amorphous ribbons were annealed at 420 °C in a vacuum and in the air. The magneto-optical properties of the obtained amorphous ribbon were investigated.

Ключевые слова: аморфные ленты, ЭЭК, экваториальный эффект Керра, отжиг.

Keywords: amorphous ribbons, equatorial Kerr effect, annealing.

В начале 60-х годов в научном мире распространилось сообщение о том, что получены металлические сплавы, не имеющие кристаллической структуры. Металлы и сплавы с беспорядочным расположением атомов стали называть аморфными металлическими стеклами, отдавая должное той аналогии, которая существует между неупорядоченной структурой металлического сплава и неорганическим стеклом.

Открытие аморфных металлов внесло большой вклад в науку о металлах, существенно изменив наши представления о них. Оказалось, что аморфные металлы разительно отличаются по своим свойствам от металлических кристаллов, для которых характерно упорядоченное расположение атомов [1].

Технология получения аморфных лент

Для проведения исследований на аморфных материалах была разработана технология получения этих материалов (Рисунки 1–2). Существует много методов получения металлических стекол в аморфных структурах, но, самый доступный отжиг — в состоянии жидкости. Во всех установках для отжига в состоянии жидкости, жидкость попадает на

поверхности вращающегося охлаждающего диска и охлаждается с большой скоростью (10^5 – 10^7 °С/сек) и быстро затвердевает [2–3].

Толщина лент получаемых на поверхности охлаждающего барабана зависит от скорости барабана и скорости течения жидкости. Для получения аморфных лент необходимы материалы с высоким коэффициентом теплопроводности. Для этих целей лучше использовать медь. При получении аморфных лент в первую очередь необходимо приготовить барабан. Для этого используют медную трубу диаметром 250 мм, толщина стенок 6 мм, внутри которого размещается вал диаметром 60 мм, функция которого — обеспечение охлаждения.

Во внутренней части барабана расположены под углом 90° к друг другу, трубы диаметром 7 мм, — объединены. Эти трубы обеспечивают получение критической скорости охлаждения с помощью воды. Поступающая из 8 отверстий объединенных труб вода может выводиться оттуда. Затем края барабана закрываются и на токарном станке устраняются несимметричности. Таким образом, толщина барабана уменьшается с помощью точения. В направлении к поверхности барабана — открываются всевозможные отверстия.

При этом процессе необходимо поддержание внутренней стороны барабана водой.

В результате — жидкий металл с легкостью снимается с поверхности барабана после остывания. Барабан связан с электрическим двигателем с помощью ремня. Изменяя скорость двигателя можно менять скорость движения барабана [4].



Рисунок 1. Установка для получения лент с аморфной структурой.

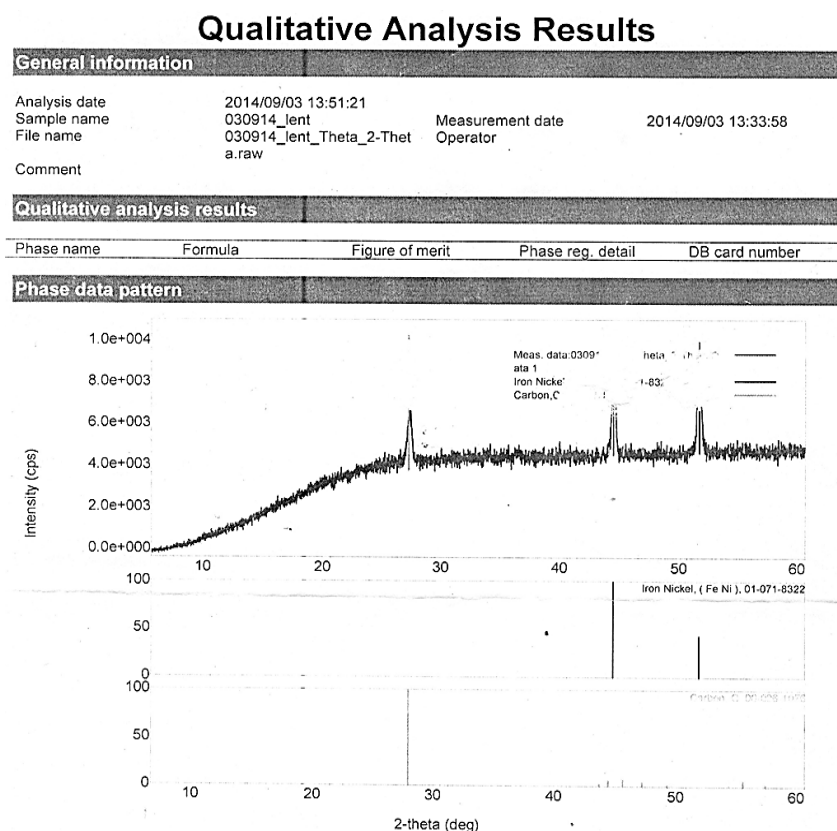


Рисунок 2. Проверка аморфности полученных лент рентгеноструктурным анализом.

Полученные ленты исследовались в различных режимах обработки.

Выбор правильной методики экспериментальных исследований является важнейшим этапом проводимых научных исследовательских работ и успех исследований во многом определяется методами и средствами измерений. Применение современной техники и совершенствование методик эксперимента является основным фактором прогресса в любой области естественных наук.

Получение новых результатов связано как с теоретической и практической значимости используемого метода, так и с повышением чувствительности, точности измерений, расширением диапазона условий, в которых возможно их проведение.

Поэтому современный уровень развития науки и техники предъявляет свои требования к методам измерений. Весьма важным и существенным являются автоматизация процессов измерений и комбинирование методов измерений, применяемых для экспериментальных исследований. Это резко повышает общую информативность исследований.

В настоящее время с развитием вычислительной техники резко снизились требования к простоте функциональных связей между непосредственными результатами измерений и конечными результатами, которые интересуют исследователя. В тех случаях, когда получение конечного результата требует проведения многих этапов измерения, громоздких вычислений и преобразований, автоматизация эксперимента и применение компьютера для этих целей позволяет повысить успех. В качестве примера можно показать эллипсометрический метод измерений, сущность которого состоит в исследовании изменения состояния поляризации света в результате его отражения от изучаемого объекта. Основополагающий вклад в создании отражательной поляриметрии, которая известна в последние годы под названием эллипсометрии, был внесен исследованиями Друде и Релея [5–6].

Интенсивное развитие вычислительной техники, применение современных

компьютеров в различных областях науки, техники и народного хозяйства позволило устранить практически все трудности связанные с громоздкими вычислениями, сложными математическими операциями. Автоматизация эксперимента и применение персональных компьютеров с многими функциональными возможностями в технике эксперимента, в том числе при эллипсометрических измерениях, позволили превратить эллипсометрию в весьма эффективный, обладающий уникальными возможностями метод, который находит применение при проведении самых разнообразных исследований в таких областях, как физика твердого тела, физика и химия поверхности и т. д.

В данной работе для исследования оптических параметров на основе никеля, кобальта использовался один из простых вариантов эллипсометрии, который носит название поляриметрического метода Битти [2]. Этот метод является одним из вариантов Друде и усовершенствованным Битти.

С другой стороны, результаты проводимых теоретических исследований позволили сделать вывод, что для получения полной информации об изменении электронной структуры сплавов на основе никеля после сплавления, также о влиянии легирования и упорядочения, помимо оптических измерений необходимо еще проводить магнитооптические измерения.

Самыми распространенными методами для магнитооптических измерений являются магнитооптический эффект Фарадея, полярный и экваториальный магнитооптические эффекты Керра.

Для наших магнитооптических исследований был выбран экваториальный магнитооптический эффект Керра, т. к. при этом эффекте подмагничивание происходит вдоль поверхности образца, что в свою очередь позволяет установить образец в межполюсном пространстве электромагнита таким образом, что можно было лучше совместить оптические и магнитооптические измерения.

С целью повышения эффективности измерения и проведения комплексного исследования оптических и магнитооптических свойств изучаемых сплавов на основе никеля, нами была создана универсальная установка для определения оптических и магнитооптических параметров металлов и сплавов [7].

Эта установка, была создана в НИЛ «Физика металлов и сплавов» при кафедре физики архитектурного и строительного университета. Для обеспечения полной автоматизации экспериментальных исследований в установку введены устройство контроля угла поворота (устройство автоматического поворота анализатора), блок деления сигналов, устройство управления шаговым двигателем, которое обеспечивает плавную спектральную развертку при измерениях, блок автоматизации режимов измерений, а также блок регулировки температуры.

Блок автоматизации режимов измерений задает последовательность оптических и магнитооптических измерений, время одного цикла измерений, включение и отключение устройств автоматического поворота анализатора и управления шаговым двигателем.

Блок регулировки температуры служит для поддержания стабильной температуры в рабочем объеме, в котором устанавливается исследуемый образец, особенно при низких и высоких температурах, а также при комнатных температурах. Это необходимо в случаях, когда требуется точные измерения, исследование зависимости характеристик сплавов от температуры. Все эти устройства были разработаны в ходе проводимых исследований.

Для повышения чувствительности установки применена модуляция света на входе установки.

В качестве поляризующих элементов установки использованы призмы Глана–Томсона (степень поляризации не ниже 10^4), которые были помещены в оправки с лимбами, позволяющими определять величины азимутальных углов с точностью до минуты. Оправки

были закреплены на лимбах с помощью пружин и винтов, при помощи которых можно было юстировать плоскость поляризатора и анализатора относительно луча подающего света строго перпендикулярно.

В установке предусмотрена возможность подключения ПК которая обеспечивает вычисление определяемых параметров (оптических констант и магнитооптического эффекта) после каждого цикла измерений.

Установка построена на базе монохроматора, типа МДР-12 со сменными дифракционными решетками с применением современных измерительных приборов, в частности, цифрового универсального вольтметра В7-46, который имеет выход с цифровым кодом, возможность внутреннего программирования.

Экваториальный эффект Керра определяется как относительное изменение интенсивности линейно поляризованного света, отраженного от поверхности образца расположенного в магнитном поле:

$$\delta_{\text{экв.}} = \frac{I - I_0}{I_0}$$

где I интенсивность отраженного света в магнитном поле, а I_0 значение интенсивности при отсутствии магнитного поля. Для вычисления недиагональной компоненты тензора диэлектрической проницаемости, экваториальный эффект Керра измеряется при двух разных углах падения света [4–8].

$$\begin{aligned}\delta_{\varphi_1} &= a_1 \varepsilon'_1 + b_1 \varepsilon'_2 \\ \delta_{\varphi_2} &= a_2 \varepsilon'_1 + b_2 \varepsilon'_2\end{aligned}$$

Здесь a_1 , b_1 , и a_2 , b_2 , параметры, связанные с оптическими константами, определяются из оптических измерений

$$\begin{cases} a_1 = 2 \sin 2\varphi_1 \frac{A_1}{A_1^2 + B_1^2} \\ b_1 = 2 \sin 2\varphi_1 \frac{B_1}{A_1^2 + B_1^2} \end{cases} \quad \begin{cases} a_2 = 2 \sin 2\varphi_2 \frac{A_2}{A_2^2 + B_2^2} \\ b_2 = 2 \sin 2\varphi_2 \frac{B_2}{A_2^2 + B_2^2} \end{cases}$$

где A и B определяются из следующих уравнений:

$$\begin{cases} A_1 = \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cdot \cos^2 \varphi_1 - 1); \\ A_2 = \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cdot \cos^2 (\varphi_2) - 1); \end{cases} \quad \begin{cases} B_1 = (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2) \cdot \cos^2 \varphi_1 + \varepsilon_1 - \sin^2 \varphi_1 \\ B_2 = (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2) \cdot \cos^2 \varphi_2 + \varepsilon_1 - \sin^2 \varphi_2 \end{cases}$$

В настоящее время вещества, обладающие эффектом ГМИ (аморфные, ленты, проволоки, пленки, слоистые структуры), повсеместно синтезируются, активно изучаются их физические свойства, решаются задачи установления природы и механизмов проявления ГМИ на высоких и низких частотах. Причины такого внимания связаны, прежде всего, с возможностями применения материалов, с ГМИ возникает ряд трудностей. В частности, до сих пор не решена проблема получения материалов с ГМИ, обладающих стабильными,

воспроизводимыми параметрами. Кроме того нет полной ясности в понимании природы и механизмов ГМИ в ферромагнитах. С этой целью проводилось экспериментальные исследования магнитооптических свойств в аморфных лентах $(\text{CoFe})_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ не обработанных, а также отожженных на воздухе и в вакууме (Рисунок 3).

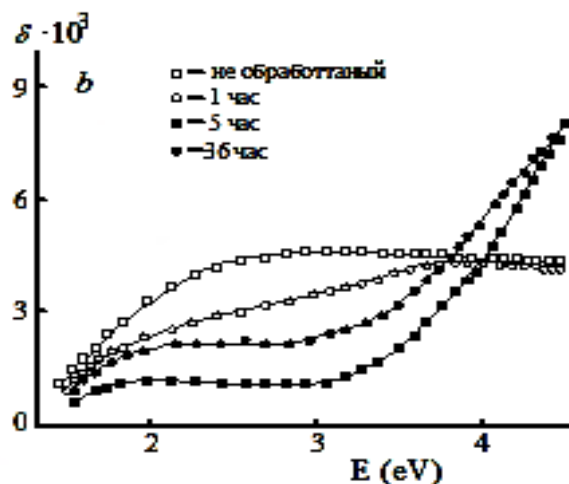


Рисунок 3. Экваториальный эффект Керра образцов спектры аморфных лент, отжиг в воздухе в разные периоды времени в поле $2e$.

Обнаружено, что вид спектральных зависимостей экваториального эффекта Керра для аморфных лент сильно зависит от условий термической обработки. Для серии образцов, отожженных на воздухе при значениях поля 2 ± 3 эрстед, форма спектров и величина эффекта Керра изменяется с увеличением времени отжига. Для необработанной ленты и образца, отожженного в течение 20 минут, величина экваториального эффекта растет в области энергий падающего света от 1,5 до 2,5 эВ, и начиная с 3 эВ постоянно приобретает частотно-независимый вид. Полученные результаты были сопоставлены с известными спектральными зависимостями экваториального эффекта Керра аморфных сплавов на основе Co, которые обладают широким максимумом в районе 3 эВ.

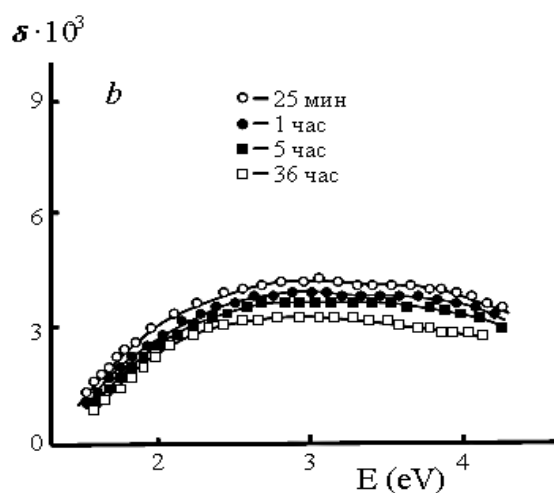


Рисунок 4. Спектр эффекта ЭК при $T = 420\text{ }^{\circ}\text{C}$ в вакууме в разные периоды времени.

Сравниваемые кривые имеют сходную форму и величину магнитооптического эффекта. С увеличением времени отжига спектры экваториального эффекта Керра аморфных лент трансформируются, о чем свидетельствует появление особенностей в области энергий падающего света $\sim 1,8$ эВ и $\sim 4,5$ эВ. Сравнение с типичными спектральными зависимостями для сплавов Со, позволяет прийти к выводу, что эффект Керра отожженных на воздухе аморфных лент постепенно приобретает вид, свойственный монокристаллическим сплавам Со. Каких-либо изменений в спектральных зависимостях экваториального эффекта Керра образцов, отожженных в вакууме, не наблюдалось (Рисунок 4).

Спектры экваториального эффекта Керра аморфных лент, изменяли форму с увеличением времени отжига. Отметим, что также отличаются полевые кривые для образцов, отожженных на воздухе и в вакууме.

Список литературы:

1. Антонов А. С., Гадетский С. Н., Грановский А. Б., Перов Н. С. и др. Гигантский магнитоимпеданс в аморфных нанокристаллических мультислоях // Физика металлов и металловедение. 1997. Т. 83. №6. С. 60-72.
2. Kim C. G., Jang K. J., Kim H. C., Yoon S. S. Asymmetric giant magnetoimpedance in field-annealed Co-based amorphous ribbon // Journal of applied physics. 1999. V. 85. №8. P. 5447-5449.
3. Chen D. X., Pascual L., Hernando A. Comment on "Analysis of asymmetric giant magnetoimpedance in field-annealed Co-based amorphous ribbon" [Appl. Phys. Lett. 75, 2114 (1999)] // Applied Physics Letters. 2000. V. 77. №11. P. 1727-1729.
4. Inoue M., Arai K. I., Fujii T., Abe M. Magneto-optical properties of one-dimensional photonic crystals composed of magnetic and dielectric layers // Journal of applied physics. 1998. V. 83. №11. P. 6768-6770.
5. Потапов А. П. Физическое обоснование и реализация методов направленного воздействия на функциональные свойства магнитомягких аморфных и нанокристаллических материалов // Appl. Phys. 1979. Т. 50. №7. С. 5054-5058.
6. Москвин А. С., Зенков А. В. Висмут-индуцированное усиление магнитооптики ферритов-гранатов. Теоретический анализ // Физика твердого тела. 2002. Т. 44. №10. С. 1811-1818.
7. Vázquez M. Giant magneto-impedance in soft magnetic "Wires" // Journal of magnetism and magnetic materials. 2001. V. 226. P. 693-699.
8. Bandaru P. R., Park J., Lee J. S., Tang Y. J., Chen L. H., Jin S., ... O'Brien J. R. Enhanced room temperature ferromagnetism in Co- and Mn-ion-implanted silicon // Applied physics letters. 2006. V. 89. №11. P. 112502.

References:

1. Antonov, A. S., Gadetsky, S. N., Granovskii, A. B., Perov, N. S., & al. (1997). Giant magnetoimpedance in amorphous nanocrystalline multilayers. *Physics of metals and metallurgy*, 83(6), 60-72.
2. Kim, C. G., Jang, K. J., Kim, H. C., & Yoon, S. S. (1999). Asymmetric giant magnetoimpedance in field-annealed Co-based amorphous ribbon. *Journal of applied physics*, 85(8), 5447-5449.
3. Chen, D. X., Pascual, L., & Hernando, A. (2000). Comment on "Analysis of asymmetric giant magnetoimpedance in field-annealed Co-based amorphous ribbon" [Appl. Phys. Lett. 75, 2114 (1999)]. *Applied Physics Letters*, 77(11), 1727-1729.

4. Inoue, M., Arai, K. I., Fujii, T., & Abe, M. (1998). Magneto-optical properties of one-dimensional photonic crystals composed of magnetic and dielectric layers. *Journal of applied physics*, 83(11), 6768-6770.

5. Potapov, A. P. (1979). Physical substantiation and realization of methods of directed influence on the functional properties of soft magnetic amorphous and nanocrystalline materials. *Appl. Phys.*, 50(7), 5054-5058.

6. Moskvina, A. S., & Zenkov, A. V. (2002). Bismuth-induced magnification of magneto-optics of garnet ferrite. Theoretical analysis. *Physics of the solid*, 44(10), 1811-1818.

7. Vázquez, M. (2001). Giant magneto-impedance in soft magnetic “Wires”. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 226, 693-699.

8. Bandaru, P. R., Park, J., Lee, J. S., Tang, Y. J., Chen, L. H., Jin, S., ... & O'Brien, J. R. (2006). Enhanced room temperature ferromagnetism in Co- and Mn-ion-implanted silicon. *Applied physics letters*, 89(11), 112502.

Работа поступила
в редакцию 15.07.2018 г.

Принята к публикации
18.07.2018 г.

Ссылка для цитирования:

Панахов Т. М., Исаева А. А., Рефиев Н. М. Магнитооптические свойства аморфных лент на основе CoFe // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №8. С. 136-143. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/panahov> (дата обращения 15.08.2018).

Cite as (APA):

Panahov, T., Isayeva, A., & Refiyev, N. (2018). Magneto-optical properties of amorphous ribbon based on CoFe. *Bulletin of Science and Practice*, 4(8), 136-143.