УДК 621.31+ 537.632

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЁНОК

Ляшко С. Д., Ляшко Д. А.

Таврический национальный университет имени В .И. Вернадского, проспект академика Вернадского 4, Симферополь 295007, Республика Крым, Россия E-mail: roton@crimea.edu

В работе описан автоматизированный магнтооптический спектрополяриметрический комплекс, который позволяет производить исследования оптических и магнитооптических свойств тонких магнитных плёнок в оптическом диапазоне 400-750 нм (для оптических исследований — до 950 нм) в магнитном поле до 5 кЭ. Описанное устройство может быть использовано для исследования магнитооптических параметров тонких магнитных пленок, магнитофотонных, магнитоплазмонных кристаллов и т.п.

Ключевые слова: эффект Фарадея, микроконтроллер (МК), операционный усилитель (ОУ), аналоговоцифровой преобразователь (АЦП).

PACS: $84.30. \pm r$; 89.20.Bb; 42.25 Bs; 42.25. Lc

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к исследованию тонких магнитных плёнок обусловлен как особенностями их структуры и физических свойств, так и перспективами применения их в различной технике. Особый интерес в настоящее время вызывают исследования магнитофотонных [1, 2] и магнитоплазмонных [1, 3, 4] кристаллов, содержащих феррит-гранатовые слои и имеющих особенности в проявлении магнитооптических свойств (эффекты Фарадея и Керра), в различных участках спектрального диапазона.

Для обеспечения удобства исследования подобных структур необходим специализированный автоматизированный магнитополяриметр с развёрткой по длине волны, и разверткой по магнитному полю в заданном спектральном диапазоне. Таких устройств на рынке представлено мало, а цена их, как правило, достаточно высока.

Для решения научно-исследовательских задач был разработан автоматизированный магнитооптический спектрополяриметрический комплекс, имеющий следующие параметры:

- 1. Спектральный диапазон 400-750 нм (для оптических исследований до 950 нм) с шагом порядка 1 нм;
 - 2. Точность определения угла вращения Фарадея 0.1 градус;
 - 3. Диапазон изменения постоянного магнитного поля 0-5 кЭ;
- 4. Возможность как ручного, так и автоматизированного режима управления с ΠK .

1. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Блок-схема разработанного источника представлена на Рис. 1.

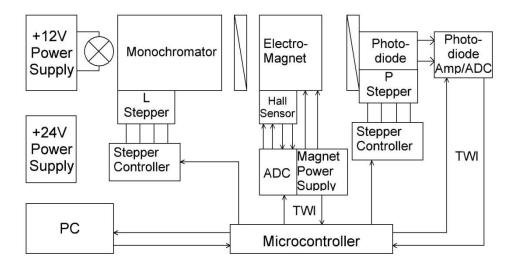


Рис. 1. Блок-схема магнитооптического спектрополяриметра.

Для измерения величины эффекта Фарадея применяется компенсационный метод. Для этого применяется следующий алгоритм:

Перед началом работы поляризатор и анализатор выставляются в скрещенное состояние.

Исследуемый образец помещается в держатель и размещается внутри электромагнита. В катушки электромагнита подаётся ток.

Благодаря эффекту Фарадея линейно поляризованный свет, проходя через намагниченный исследуемый образец, поворачивает вектор поляризации и через анализатор попадает на фоторегистрирующее устройство.

Посредством вращения анализатора по уровню сигнала с фотоприёмника определяется новое положение скрещенного состояния. Разница в градусах между скрещенными состояниями двух измерений, даёт искомый угол фарадеевского вращения.

При каждом последующем шаге с помощью монохроматора производится изменение длины волны падающего излучения и определяется соответствующая ему величина фарадеевского вращения. Эти точки зависимости фарадеевского вращения от длины волны и дают искомый спектр.

Источником монохромного излучения в установке является монохроматор, первичным излучателем в котором является вольфрамово-галогенная лампа с ориентацией спирали вдоль входной щели монохроматора.

В качестве поляризационных фильтров применены плёночные поляризаторы, один из которых неподвижно закреплён на выходе монохроматора, а второй

размещён перед фотодиодом на шестерне червячного редуктора и может вращаться без ограничения в обе стороны.

Развёртка по длине волны и углу Фарадеевского вращения производится с помощью биполярных шаговых двигателей, работающих в полушаговом режиме. В качестве контроллеров шаговых двигателей применены микросхемы фирмы Allegro A2917SEB, как хорошо зарекомендовавшие себя для этих целей и применяющиеся в различных устройствах. В связи с выделением достаточно большого количества тепловой энергии, они были закреплены на алюминиевых радиаторах с достаточной теплоёмкостью и площадью рассеивания.

Для питания цепей спектромагнитополяриметра и шаговых двигателей предусмотрен источник напряжения +24 B, собранный по классической схеме однотактного импульсного преобразователя по схеме блокинг-генератора.

Для питания лампы предусмотрен отдельный импульсный источник напряжения +12 В.

1.1. Усиление выходного сигнала

Существует два способа получения сигнала от фотодиода: измерение напряжения и измерение тока. Для измерения напряжения схема должна иметь высокий импеданс, чтобы ток, текущий через её вход, был минимальным. В таких условиях измерение напряжения будет нелинейным, отношение входной световой напряжению будет выходному логарифмическим, чувствительность фотодиода изменяется в зависимости от приложенного к нему прямого напряжения. Поэтому, для получения линейной зависимости выходного сигнала от световой энергии целесообразно использовать измерение тока, а не напряжения. Как показано в статье [5] измеритель тока должен иметь нулевой входной импеданс, чтобы падение напряжения на диоде также было нулевым. Нулевой импеданс обеспечивает операционный усилитель, благодаря большому усилению которого обратная связь устанавливает нулевую разность напряжения между входами. Ток практически не течёт через вход операционного усилителя, целиком направляясь в резистор обратной связи. Для получения как можно большего коэффициента преобразования тока в напряжение сопротивление обратной связи делают настолько большим, насколько позволяют существующие ограничения. Для увеличения эффективности преобразователя применяют схему с дифференциальным входом на ОУ. Так как фотодиод генерирует токовый сигнал, он доступен на обоих выводах этого датчика и может подключаться между инвертирующим и неинвертирующим входами ОУ, тем самым создавая второе напряжение сигнала, которое и увеличивает усиление схемы. Здесь также отсутствует постоянное напряжение на фотодиоде, так как он включён между входами операционного усилителя. А так как напряжение между входами практически равно нулю, то отсутствует и ток утечки фотодиода [5]. В установке применён кремневый фотодиод ФД-288б, для усиления сигнала которого были применены ОУ ОР07, хорошо зарекомендовавшие себя низким уровнем шумов. Обратная связь подбиралась с расчётом, чтобы максимальный выходной сигнал был равен 2,5 В. Для более точного детектирования сигнала в

коротковолновой части оптического спектра, а также увеличения точности определения угла фарадеевского вращения были применены дополнительные масштабирующие неинвертирующие усилители на ОУ ОР07 с коэффициентами усиления 5, 10 и 40.

Общая схема усилителя фотодиода представлена на Рис. 2.

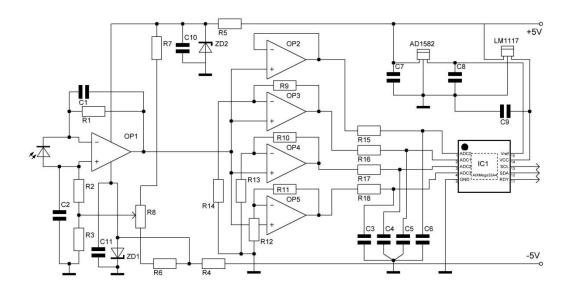


Рис. 2. Схема уситилеля фотодиода.

Для питания цепей усилителей были применены схемы понижающего инвертирующего стабилизаторов на микросхеме 34063, выполненных по классической схеме. Для дополнительной стабилизации питания были применены стабилитроны ZD1 и ZD2.

Для балансировки усилителя постоянного тока (установки на его выходе нулевого напряжения при перекрытом световом потоке) предусмотрен переменный резистор R8, выведенный на заднюю стенку фотометра.

Для регистрации выходного сигнала был применён микроконтроллер AtXMega32A4, функций и выводов которого было достаточно для выполнения данной задачи. 4 канала 12-разрядного АЦП МК были подключены к выходам масштабирующих усилителей, переключение коэффициента усиления производится программным выбором входа АЦП МК. В качестве источника опорного напряжения была применена микросхема AD1582 с напряжением стабилизации 2,5 В, параметров которой было достаточно для применения вместе с АЦП МК.

Для связи с основным микроконтроллером была применена шина TWI.

1.2. Управление электромагнитом и измерение магнитного поля

Для измерения магнитооптических параметров тонких плёнок необходим источник магнитного поля. В данной установке для этой цели применён

электромагнит с креплением для образца в центре зазора. Для прохождения света сквозь электромагнит в его кернах сделаны специальные отверстия. Для измерения тепловой зависимости магнитооптических параметров на держателе предусмотрено крепление нагревательного элемента для образца.

Для управления электромагнитом был применён автоматизированный источник постоянного тока из [7], собранный на МК AtXMega32A4, модифицированный для управления по шине TWI и совмещённый со схемой измерения напряженности магнитного поля.

Для измерения величины напряжённости магнитного поля был применён датчик Холла ДХК-0,5а, расположенный в зазоре электромагнита рядом с образцом. В качестве источника опорного тока для датчика был применён источник опорного напряжения МАХ6250, ток от которого ограничен точным резистором до 3 мА. Для измерения напряженности магнитного поля сигнал с датчика Холла усиливается с помощью прецизионного инструментального усилителе INA118, а затем оцифровывается с помощью АЦП МК АТХМЕGА32A4. Для связи с основным контроллером была также применена шина TWI.

1.3. Управление работой спектрополяриметра

В качестве основного управляющего элемента спектромагнитополяриметра был применён широко известный микроконтроллер AtMega32, его коммутация с другими узлами установки производилась по шине TWI, а управление контроллерами шаговых двигателей — по параллельному интерфейсу. Для ручного режима работы предусмотрен символьный ЖК-экран 2 строки 16 символов, на который выводятся текущие значения сигнала с фотодиода, длины волны излучения и магнитного поля в электромагните. Для управления шаговыми двигателями в ручном режиме применены 4 кнопки, подключенные к АЦП входу микроконтроллера.

Для дистанционного управления с ПК был использован интерфейс UART МК на скорости 115200 бод, 1 стартовый бит, 8 бит данных, без контроля чётности. Так как в большинстве компьютеров СОМ-порт отсутствует, в качестве коммутирующей микросхемы была выбрана схема на FT232RL в связи с её простотой и надёжностью. Для управления с ПК была написана программа, позволяющая производить автоматическую развёртку зависимостей угла фарадеевского вращения от длины волны и от магнитного поля. Возможен также режим работы комплекса в качестве фотометра при измерении коэффициентов оптического пропускания образцов. В этом случае поляризаторы выставляются в параллельном состоянии и производится измерение зависимости амплитуды сигнала фотодиода от длины волны. Для получения спектра пропускания необходимо сначала снять зависимость амплитуды от длины волны без образца, а затем – с исследуемым образцом. Спектр пропускания исследуемого образца можно получить, разделив кривую образца на кривую установки.

Для калибровки по длине волны требуется получить две точки соответствия длины волны количеству шагов шагового двигателя и записать их в настройки

программы, после чего пересчёт шагов в единицы длины волны производится автоматически.

выводы

В работе представлено описание созданного автоматизированного спектромагнитополяриметра, необходимого для проведения исследований тонких магнитных плёнок, магнитофотонных и магнитоплазмонных кристаллов и других научных исследованиях. При испытаниях прибор показал хорошие эксплуатационные характеристики. Результаты, полученные с помощью описанного прибора помогут в разработке магнитофотонных и магнитоплазмонных кристаллов для применения их в различных устройствах.

Список литературы

- Inoue M. Magnetophotonic Crystals: Experimental Realization and Applications / M. Inoue, A. V. Baryshev, T. Goto [et al.]; M. Inoue et al. (eds.) // Magnetophotonics. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2013. – P. 163.
- Microcavity One-Dimensional Magnetophotonic Crystals with Double Layer Iron Garnet / V. N. Berzhansky, T. V. Mikhailova, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, I. N. Lukienko, Yu. N. Kharchenko, O. V. Miloslavskaya, N. F. Kharchenko // J. Magn. Soc. Jpn. 2012. Vol. 36, No 1_2. P. 42.
- 3. Interplay of surface resonances in one-dimensional plasmonic magnetophotonic crystal slabs / A. V. Baryshev, K. Kawasaki, P. B. Lim, and M. Inoue // Phys. Rev. B. 2012. Vol. 85. P. 205130.
- 4. Hamidi S. M. Contribution of Au nanoparticles to the longitudinal magneto-optical Kerr effect of Bragg reflector based magneto-plasmonic multilayers / S. M. Hamidi, H. Normohammadi, M. M. Tehranchi // Optics & Laser Technology. 2013. Vol. 49. P. 237–242.
- Philip Hobbs. Photodiode monitoring with OP AMPs / Philip Hobbs, Burr-Brown, Texas Instruments, http://www.ti.com/lit/an/sboa035/sboa035.pdf, режим доступа — свободный.
- 6. Ляшко С. Д. Автоматизированный источник постоянного тока с функцией дистанционного управления для лабораторных исследований / С. Д. Ляшко, Д. А. Ляшко // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Физикоматематические науки. − 2013. − Т. 26 (65), № 2. − С. 151-157.
- Вестерман Д. Применение трансимпедансных усилителей / Д. Вестерман // Новости Электроники. 2008. № 5. С. 29.
 МС34063 Texas Instruments Incorporated, datasheet, http://ti.com/lit/ds/symlink/mc34063a.pdf,
- MC34063 Texas Instruments Incorporated, datasheet, http://ti.com/lit/ds/symlink/mc34063a.pdf, <a href="personal-pexaustration-recorded-rec
- 9. AtMega32 Atmel, datasheet, http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf, режим доступа свободный.

Ляшко С. Д. Автоматизованний магнітооптичний спектрополяриметричний комплекс для дослідження властивостей тонких магнітних плівок / С. Д. Ляшко, Д. А. Ляшко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Фізико-математичні науки. — 2014. — Т. 27 (66), № 2. — С. 141-147.

У роботі описаний автоматизований магнітооптичний спектрополяриметричний комплекс, який дозволяє проводити дослідження оптичних та магнітооптичних властивостей тонких магнітних плівок в оптичному діапазоні 400-750 нм (для оптичних досліджень - до 950 нм) в магнітному полі до 5кЕ. Описаний пристрій може бути використано для дослідження магнітооптичних параметрів тонких магнітних плівок, магнтофотонних, магнітоплазмонних кристалів тощо.

Ключові слова: ефект Фарадея, мікроконтролер (МК), операційний підсилювач (ОУ), аналоговоцифровий перетворювач (АЦП).

Lyashko S. D. Automated spectropolarimetric magneto-optical complex for studying the properties of thin magnetic films / S. D. Lyashko, D. A. Lyashko // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2014. – Vol. 27 (66), No 2. – P. 141-147.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ...

The article describes an automated magneto-optical spectropolarimetric complex, which allows the study of the optical and magneto-optical properties of thin magnetic films in the optical range of 400-750 nm (for optical research - up to 950 nm) in a magnetic field up to 5kE. The described device can be used to study parameters magneto magnetic thin films magnetophotonic, magnetoplasmonic crystals, etc.

Keywords: Faraday effect, the microcontroller (MC), an operational amplifier (op amp), analog-to-digital converter (ADC).

References

- M. Inoue, A. V. Baryshev, T. Goto, S. M. Baek, S. Mito, H. Takagi, P. B. Lim, "Magnetophotonic Crystals: Experimental Realization and Applications," in *Magnetophotonics*; Ed. by M. Inoue et al. (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013), p. 163.
- V. N. Berzhansky, T. V. Mikhailova, A. V. Karavainikov, A. R. Prokopov, A. N. Shaposhnikov, I. N. Lukienko, Yu. N. Kharchenko, O. V. Miloslavskaya, N. F. Kharchenko, J. Magn. Soc. Jpn. 36, No. 1 2, 42 (2012).
- 3. A. V. Baryshev, K. Kawasaki, P. B. Lim, and M. Inoue, *Phys. Rev. B* **85**, 205130 (2012).
- 4. S. M. Hamidi, H. Normohammadi, M. M. Tehranchi, Optics & Laser Technology 49, 237 (2013).
- 5. Philip Hobbs, Burr-Brown, Texas Instruments, *Photodiode monitoring with OP AMPs*, http://www.ti.com/lit/an/sboa035/sboa035.pdf.
- S. D. Lyashko, D. A. Lyashko, Automated DC Power Supply with Possibility of Remote Control for Research Purposes, Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University, Ser. Physics and Mathematics Sciences 26 (65), No. 2, 151 (2013).
- 7. D. Vesterman, Novosti Ehlektroniki 5, 29 (2008).
- MC34063 Texas Instruments Incorporated, datasheet, http://ti.com/lit/ds/symlink/mc34063a.pdf.
- 9. AtMega32 Atmel, datasheet, http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf.

Received 21 September 2014.