

УДК 538.612

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

© 2011 г. С. А. Мигачев\*, М. Ф. Садыков, Д. А. Иванов, М. М. Шакирзянов\*

Казанский государственный энергетический университет  
Россия, 420066, Казань, ул. Красносельская, 51

\*Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН  
Россия, 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7

Поступила в редакцию 20.01.2011 г.

Описывается многофункциональная автоматизированная экспериментальная установка для исследования магнитооптических, магнитоакустических и акустооптических свойств магнитоупорядоченных веществ. Установка позволяет исследовать физические явления при одновременном воздействии на вещество оптического излучения ближнего и.к.-диапазона, акустических полей до  $10^5$  Вт/м<sup>2</sup> в магнитном поле до  $1.67 \cdot 10^6$  А/м.

На основе аппаратно-программных средств National Instruments создана экспериментальная установка (рис. 1) по изучению магнитоупругих и акустооптических свойств магнетиков, а также особенностей дифракции света на акустической волне в условиях внешнего магнитного поля до  $1.67 \cdot 10^6$  А/м.

В установке имеется оптическая часть, состоящая из инфракрасного лазера ИКЛ с источником питания, оптической системы формирования луча ФЛ, фотоприемника ФП и электромагнита ЭМГ с блоком питания БПМ.

Для исследования магнитоупругих свойств образца используется акустическая часть установки, состоящая из генератора несущей частоты с внешним модулятором, тактирующего генератора, усилителя мощности ВЧУ, передающего и приемного пьезопреобразователей ПП, супергертеродинного приемника ВЧП.

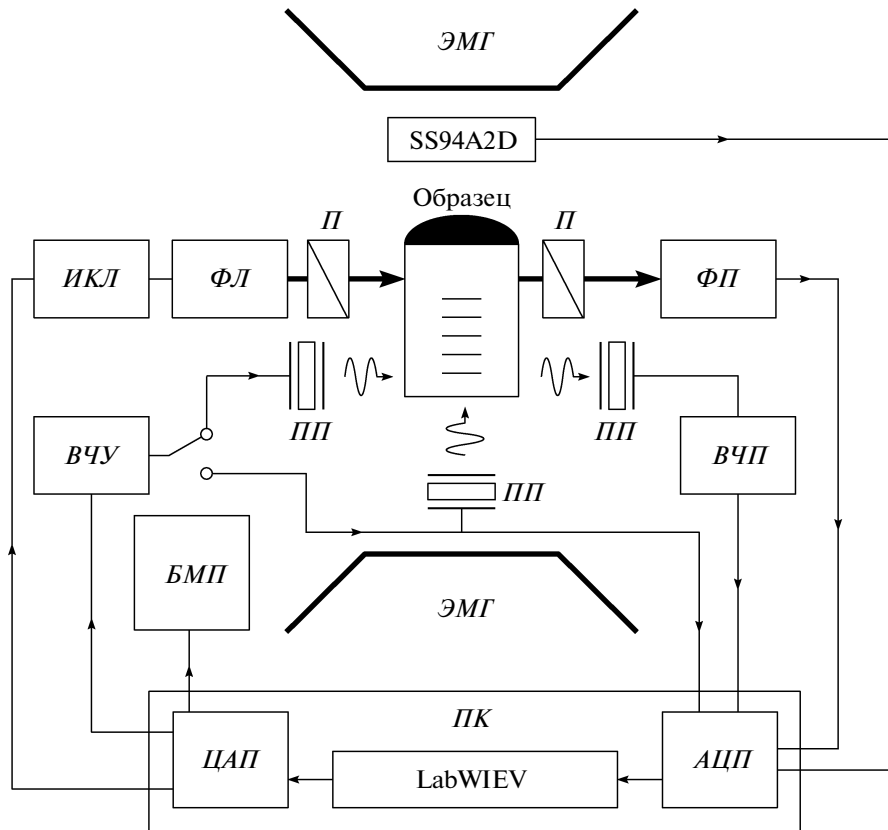
Электрическая схема когерентного модулятора, входящего в состав усилителя мощности, приведена на рис. 2. В.ч.-сигнал с генератора несущей частоты поступает на схему формирования синфазного тактирующего импульса, состоящую из модернизированного частотомера ЧЗ-57, вырабатывающего управляющий импульс с регулируемым числом периодов (от 10 до 100 периодов в.ч.). Формирователь управляющих импульсов вырабатывает два импульса разной полярности для управления модулятором. Импульс одной полярности подается на затворы транзисторов  $VT_1$  и  $VT_3$ , а другой полярности на затвор  $VT_2$ , при этом  $VT_1$  и  $VT_3$  либо пропускают в.ч.-сигнал, либо нет, а транзистор  $VT_2$  либо разрешает прохождение, либо блокирует в.ч.-сигнал. Таким образом, мо-

дулятор выдает когерентный в.ч.-импульс необходимой длительности диапазона 50–100 МГц.

Описываемая установка позволяет проводить исследования распространения акустических волн в магнетиках во внешнем магнитном поле. С ее помощью можно определять затухание и скорость звука, исследовать магнитное двупреломление звука, а также пространственные характеристики направления распространения потока акустической энергии.

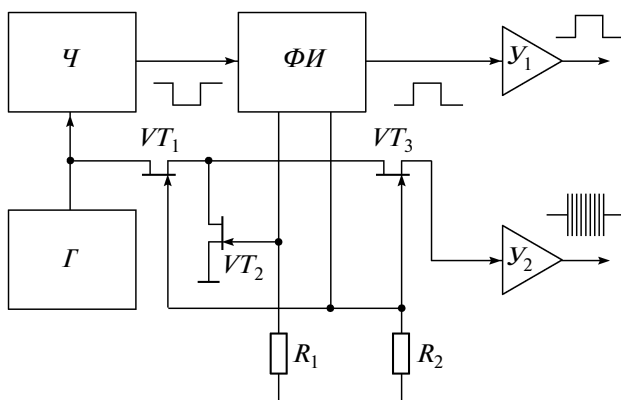
На установке также проводятся эксперименты по изучению характеристик акустооптического взаимодействия в магнитных кристаллах в постоянном внешнем магнитном поле. Для этого в комплекс включена система мощной акустической накачки (до 30 Вт), основанная на современных недорогих высокочастотных усилителях RA30H1317M-130-170 МГц или RA45H4052M-400-520 МГц – это гибридные микросхемы, выполненные на основе современных MOSFET транзисторов, которые лучше справляются с ухудшением коэффициента стоячей волны (к.с.в.). Кроме того, эти усилители снабжены входом регулировки коэффициента усиления, что позволяет автоматически поддерживать заданный уровень мощности. Для контроля согласования акустической накачки используется измеритель к.с.в. и мощности Comet CMX-2300. Прибор имеет два частотных диапазона 1.8–200 и 140–525 МГц с пределами измерения мощности до 3 кВт.

Возбуждение и прием акустических волн осуществлялись пластинчатыми пьезопреобразователями ПП ниобата лития соответствующих срезов (Z-среза для продольных и X-среза для сдвиговых колебаний). В тех случаях, когда требовались высокие уровни акустической мощности, использовались резонансные свойства ПП, возбуждавшихся



**Рис. 1.** Блок-схема установки для изучения магнитоупругих и акустооптических свойств легкоплоскостных антиферромагнетиков. ИКЛ – инфракрасный лазер, ФЛ – формирователь луча, ФП – фотоприемник, ЭМГ – электромагнит, БМП – блок питания магнита, ВЧУ – усилитель мощности, ПП – передающий/приемный пьезопреобразователь, ВЧП – супергетеродинный приемник, ПК – персональный компьютер, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, П – поляризаторы.

на основной или нечетных собственных гармониках колебаний, для чего был изготовлен набор ПП с резонансными частотами 10–30 МГц. Акустический контакт между ПП и образцами осуществ-



**Рис. 2.** Схема когерентного в.ч.-модулятора. Ч – частотомер; Г – в.ч.-генератор; У<sub>1</sub> – усилитель синхроимпульса; У<sub>2</sub> – выходной широкополосный усилитель до 100 МГц; ФИ – формирователь управляющих импульсов; VT<sub>1</sub>–VT<sub>3</sub> – КП303А.

лялся при помощи твердой связки (для которой модуль сдвига имеет достаточно большое значение). Удовлетворительные результаты для акустических волн с поперечной поляризацией в диапазоне температур 250–320 К получены при использовании эпоксидных смол ЭД-20. После размещения компонентов и перед склеиванием ПП с образцом смола проходила процедуру обезгаживания под пониженным ( $\approx 1$  Торр) атмосферным давлением. Электрическое согласование ПП с приемником и передатчиком осуществлялось посредством индуктивно связанных резонансных контуров, настроенных в резонанс с несущей частотой.

К выходу модулятора подключался один из широкополосных усилителей мощности необходимого диапазона. Таким образом, удалось получить диапазон рабочих частот установки 20–520 МГц. Режим бегущей акустической волны создавался поглощением ультразвука на противоположном от ПП торце образца присоединенным коническим поглотителем, материал которого выбирался из условия максимальной близости волновых

акустических сопротивлений образца и поглотителя. В случае гематита таковым являлась медь.

Акустическая мощность, прошедшая через образец, оценивалась калориметрическим методом [1] по нагреву образца под воздействием ультразвука (для калибровки мощности теплопроводящей пастой КПТ-8 к образцу приклеивался СМД-резистор, на который подавались известные электрические напряжения). Поглотитель снабжен полупроводниковым измерителем температуры LM60 — это недорогое устройство имеет малые габариты, погрешность  $0.5^{\circ}\text{C}$ , подходящий температурный диапазон ( $-40...+125^{\circ}\text{C}$ ), а также линеаризованную характеристику. Линейность характеристики и простота подключения позволяют интегрировать датчик в автоматизированную систему сбора данных. Для измерения температуры, при которой велись эксперименты, использовалась термопара медь—константан.

Одной из частей автоматизированной установки является разработанный нами блок питания электромагнита. Мы использовали линейный регулируемый стабилизатор. Для контроля за величиной магнитного поля использовался линеаризованный датчик Холла SS94A2D. Этот датчик также интегрирован в автоматизированную систему.

Управляющая программа позволяет получать массивы данных с осциллографа Tektronix TDS1002 в режиме реального времени [2], которые выводятся на экран персонального компьютера в виде осциллограммы или сохраняются в памяти, что удобно для дальнейшей обработки.

Схемы измерительных ячеек с характерными размерами образцов представлены в работах [3–5].

С использованием данной установки в легкоплоскостном антиферромагнетике  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (гематит) получены следующие результаты:

— впервые обнаружена зависимость оптического двулучепреломления от магнитного поля, оценены магнитооптические константы [6];

— впервые обнаружен и исследован акустический аналог эффекта Коттона—Мутона, заключающийся в появлении двулучепреломления магнитоупругих волн, распространяющихся вдоль оси симметрии третьего порядка [7, 8];

— впервые экспериментально обнаружена дифракция света на звуке в режиме Рамана—Ната,

обусловленная линейной модуляцией поляризации нормальных оптических мод, связанной с осцилляциями вектора антиферромагнетизма, вызванными магнитоупругим взаимодействием [4, 5] и исследована зависимость параметров дифракции от величины постоянного магнитного поля, приложенного в базисной плоскости;

— в слабоферромагнитном состоянии обнаружено разделение входящего потока звуковой энергии на два потока [3], соответствующих двум нормальным модам поперечных колебаний в образце, распространяющихся вдоль тригональной оси  $C_3$  с различной фазовой скоростью вследствие эффекта линейного магнитного двулучепреломления звука.

Основные результаты получены нами для гематита, однако возможности экспериментальной установки позволяют охватить более широкий класс магнитных материалов.

Авторы выражают искреннюю признательность И.Г. Замалееву за нанесение металлических пленок на пьезопреобразователи и используемые образцы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Пер. с нем. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1956.
2. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Иванов Д.А., Шакирзянов М.М. // Сб. трудов IX междунар. научно-практической конф. “Образовательные, научные и инженерные приложения в среде Labview и технологии National Instruments — 2010”. М.: РУДН, 2010. С. 216.
3. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. // Письма в ЖЭТФ. 2010. Т. 91. № 7. С. 372.
4. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88. № 1. С. 54.
5. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. // ФТТ. 2008. Т. 50. № 10. С. 1853.
6. Ахмадуллин И.Ш., Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. // ФТТ. 2004. Т. 46. № 2. С. 305.
7. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. // ФТТ. 2006. Т. 48. № 4. С. 663.
8. Ахмадуллин И.Ш., Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. // ФТТ. 2005. Т. 47. № 3. С. 506.