

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР  
ИМЕНИ Б. И. ВЕРКИНА

---

На правах рукописи  
УДК 538.22

БЕДАРЕВ Владимир Анатольевич

ВЛИЯНИЕ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА НА ОПТИЧЕСКУЮ АНИЗОТРОПИЮ  
И ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ МАРГАНЕЦ-ГЕРМАНИЕВЫХ ГРАНАТОВ

01.04.07 - физика твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

ХАРЬКОВ - 1994

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Физико-техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина Национальной Академии Наук Украины.

Научные руководители : доктор физико-математических наук  
ГНАТЧЕНКО С. Л.  
доктор физико-математических наук,  
профессор  
ХАРЧЕНКО Н. Ф.

Официальные оппоненты : доктор физико-математических наук, профессор  
Попков Ю. А.  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
Пашкевич Ю. Г.

Ведущая организация - Институт Монокристаллов НАН Украины

Защита состоится "22" ноября 1994 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании Специализированного совета К 016. 27. 01 при Физико-техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины ( 310164, г. Харьков - 164, пр. Ленина, 47).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физико-технического института низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины.

Автореферат разослан "18" октября 1994 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной Гербовой печатью, просим направлять по адресу:

310164, г. Харьков - 164, пр. Ленина, 47, ФТИНТ НАН Украины, ученому секретарю Специализированного совета К 016. 27. 01

Ученый секретарь Специализированного совета  
кандидат физико-математических наук

ЛННБ України ім.В.Стефаника

ефа  
України

П. П. Паль-Валь



00777140 (Q)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Развитие средств записи, передачи, обработки и воспроизведения оптической информации стимулирует активные поиски новых светочувствительных материалов. В связи с этим несомненный интерес представляет изучение фотоиндуцированных явлений в твердотельных диэлектриках. Несмотря на значительное количество уже проведенных экспериментальных и теоретических исследований, механизмы фотоиндуцированных эффектов в твердотельных диэлектриках выяснены далеко не полностью. Поэтому изучение известных светочувствительных материалов и поиски новых важны не только с точки зрения их практического применения, но и для установления общих закономерностей возникновения фотоиндуцированных эффектов и выяснения их природы. В связи с этим важной задачей является экспериментальное исследование фотоиндуцированных явлений в кристаллах с ян-теллеровскими ионами, где можно ожидать существенных изменений параметров лигандного окружения оптически активного иона при изменении его валентности под действием света и где эти эффекты почти не исследованы.

Основной целью работы являлось экспериментальное исследование влияния линейно поляризованного света на оптические и магнитные свойства марганец-германиевых гранатов, выявление физических механизмов и построение моделей наблюдаемых фотоиндуцированных явлений.

### Основные положения, выносимые на защиту:

1. Из сопоставления результатов исследований температурных зависимостей фотоиндуцированного линейного двупреломления (ФЛД) в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и разбавленном гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_{1,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  экспериментально установлено, что в марганец-германиевом гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  существует связь между оптической анизотропией, появляющейся при облучении его линейно поляризованным светом, и кооперативным упорядочением ян-теллеровских деформаций. Явление фотоиндуцированного линейного двупреломления удовлетворительно объясняется в рамках моделей, учитывающих многоподрешеточность ян-теллеровской структуры марганец-германиевого граната и антиферродисторсионный характер упорядочения локальных ян-теллеровских деформаций.

2. Показано, что процессы наведения и релаксации фотоиндуциро-

ванной оптической анизотропии в  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  гранатах носят многоканальный характер. Экспериментальные временные зависимости наведения и релаксации фотоиндуцированного линейного двупредомления в марганец-германиевых гранатах описываются законом  $\exp[-(t/\tau)^\beta]$ , учитывающим существования дисперсии времен наведения и релаксации.

3. Обнаружено, что облучение линейно поляризованным светом граната  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  в антиферромагнитном состоянии приводит к возникновению в нем фотомангнитного эффекта, проявляющегося в магнитном поле в процессе антиферромагнитного перемагничивания кристалла. Обработка линейно поляризованным светом может приводить к стимулированию или задержке процесса перемагничивания антиферромагнетика в зависимости от поляризации индуцирующего излучения.

4. Экспериментально установлено, что, используя обнаруженный фотомангнитный эффект, в пластинке граната  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  можно приготовить 180-градусную антиферромагнитную доменную структуру заданной конфигурации. Продемонстрирована возможность образования полосовой доменной структуры в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , помещенном в область интерференции двух ортогонально поляризованных пучков света.

Все перечисленные результаты получены впервые, что определяет научную новизну работы.

Научное и практическое значение диссертационной работы. Получены новые данные о природе ФЛД. Определены постоянные времени наведения и релаксации ФЛД, энергии активации, температурные области существования эффекта в марганец-германиевых гранатах. Установлена связь ФЛД с наличием кооперативного упорядочения янтеллеровских искажений в Mn - содержащих гранатах. Важным с точки зрения практического использования является обнаружение влияния света на перемагничивание антиферромагнетика и возможности управляемого доменообразования в нем. Эти данные могут быть использованы при дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях фотоиндуцированных эффектов в кристаллах, а также при разработке и создании устройств оптической и магнитооптической памяти.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на следующих конференциях: "Исследование физических свойств магнетиков магнитооптическими методами" (г. Москва, 1988 г.), "Физика ферритов и родственных им соединений, их применение в технике", (г. Донецк",

1989 г.), " Параметрическая кристаллооптика и ее применение" (г. Львов, 1990 г.), Международных симпозиумах по эффекту Яна-Теллера (г. Кишинев, 1989 г.) и по магнитооптике (г. Харьков, 1991 г.), а также 6-й международной конференции по ферритам (г. Токио, 1992 г.) и Международной конференции по магнетизму (г. Стокгольм, 1993 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 6 печатных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего 70 наименований. Полный объем работы составляет 121 страницу, включая 40 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность темы проведенных исследований, указаны цели работы, научная новизна полученных результатов, представлены основные результаты, вынесенные на защиту, описана структура диссертации.

В первой главе представлен обзор литературы по результатам экспериментального и теоретического исследования марганец-германиевых гранатов. Рассмотрены структурный и магнитные фазовые переходы, а также изменения кристаллической и магнитной структуры при этих фазовых превращениях. Приведены результаты оптических и магнитооптических исследований, которые не только дали новую информацию о магнитных фазовых переходах, позволили уточнить точечную магнитную группу кристалла, но и продемонстрировали чувствительность марганец-германиевого граната к световому облучению.

Во второй главе описана методика эксперимента, основанная на использовании методов поляризационной оптики. Рассмотрены поляризационные эффекты: естественное двупреломление света и его связь с симметрией кристалла, а также линейное и циркулярное магнитное двупреломление. Изложен метод сферы Пуанкаре, позволяющий провести наглядное рассмотрение изменения поляризации света при прохождении его через оптически активную среду, обладающую в общем случае эллиптическим двупреломлением. Описан метод приготовления монокристаллических пластин марганец-германиевых гранатов. Дано описание экспериментальной установки, созданной для исследования

магнитооптических и оптических свойств кристаллов.

В третьей главе изложены результаты исследования влияния линейно поляризованного света на оптическую анизотропию гранатов, содержащих 3d- ионы в октаэдрических позициях.

Основное внимание уделялось выявлению связи между фотоиндуцированным линейным двупреломлением и кооперативным эффектом Яна-Теллера (КЭЯТ) в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . С этой целью исследовались тетрагональный гранат  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и разбавленный галлием кубический гранат  $\text{Ca}_3\text{Mn}_{1,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . В гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  КЭЯТ наблюдается ниже 516 К, а в разбавленном кристалле кооперативное упорядочение ян-теллеровских деформаций согласно рентгеновским данным отсутствует [1].

Были измерены температурные зависимости ФЛД  $\Delta n_{\text{ФЛД}}(T)$  в пластинах марганец-германиевых гранатов, вырезанных перпендикулярно осям четвертого порядка [001] (в  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  [001] - тетрагональная ось).

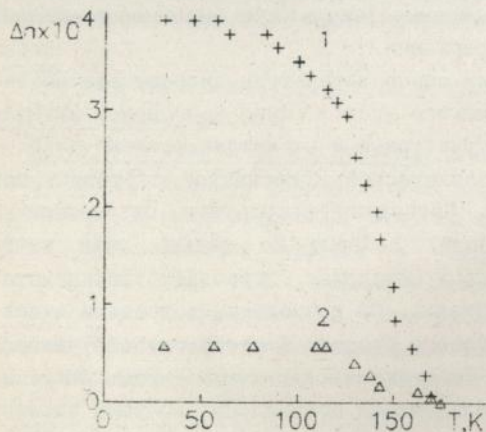


Рис. 1 Температурные зависимости ФЛД в гранатах  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (1).  $\text{Ca}_3\text{Mn}_{1,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (2).

Исследования проводились с помощью оптической схемы, в которой используются два независимых пучка света - для одновременной записи ФЛД и для его измерения. Источником индуцирующего излучения служил гелий-неоновый лазер с плотностью потока излучения около  $0,1 \text{ Вт/см}^2$ . Измерения ФЛД проводились для длины волны  $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ . Величина  $\Delta n_{\text{ФЛД}}$  измерялась через достаточно длительный промежуток времени после начала облучения, когда фотоиндуцированное двупре-

ломление достигало насыщения. При измерении температурных зависимостей  $\Delta n_{\text{ФЛД}}(T)$  учитывалась анизотропия ФЛД [2] - азимут оси поляризации индуцирующего света выбиралась таким, чтобы величина  $\Delta n_{\text{ФЛД}}$  была максимальной.

На рис. 1 приведены температурные зависимости ФЛД для двух марганец-германиевых гранатов. Видно, что ФЛД наблюдается в температурной области  $T \leq 175$  К. В разбавленном галлием гранате (кривая 2), в котором число ионов марганца уменьшено на 10%, но при этом КЭЯТ отсутствует, величина ФЛД почти в 8 раз меньше, чем в не разбавленном (кривая 1). Резкое уменьшение ФЛД в  $\text{Ca}_3\text{Mn}_{1.8}\text{Ga}_{0.2}\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  доказывает связь между оптической анизотропией, наведенной светом, и кооперативным упорядочением янтеллеровских деформаций в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

Кроме того, в этой главе сообщается об обнаружении ФЛД в гранатах  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{NaCa}_2\text{Mn}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$ . Проведенное сопоставление экспериментальных данных гранатов  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  позволило сделать предположение, что в гранате  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , как и в  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , существует КЭЯТ.

Приведены также результаты исследования влияния светового облучения на оптическую анизотропию гранатов  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{NaCa}_2\text{Co}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{NaCa}_2\text{Ni}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$ . В гранате  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  обнаружено ФЛД на два порядка меньше, чем в гранатах, содержащих ионы марганца, а в гранатах  $\text{NaCa}_2\text{Co}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{NaCa}_2\text{Ni}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$  оптическая анизотропия, наведенная линейно поляризованным светом, не была обнаружена.

Полученные экспериментальные данные легли в основу модели ФЛД. В этой модели предполагается наличие в гранате нескольких типов ориентационно неэквивалентных анизотропных к поглощению линейно поляризованного света центров. Считается, что такими центрами могут быть ионы, находящиеся в октаэдрических позициях. При поглощении кванта света может произойти переход с переносом заряда с этого иона на ловушку  $A^n \rightarrow A^{n-1}$ , где акцептором  $A^{n-1}$  может быть ион более высокой валентности, находящийся в кристалле в качестве неконтролируемой примеси. Преимущественное поглощение линейно поляризованного света одним из типов центров может приводить к обогащению примесями одних одних ориентационно неэквивалентных и обеднению других, т.е. происходит нарушение равномерного распределения примесных ионов между ними.

На примере кристалла  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  на основе упрощенной 4-х подрешеточной ян-теллеровской структуры рассматривается два возможных механизма появления ФЛД в гранатах. В первом случае учитывается, что гранат составлен из четырех подсистем, соответствующих четырем узельным подрешеткам. Каждая из этих подсистем двупреломляет, но в исходном состоянии их двупреломляющие свойства компенсируют друг друга и двупреломление в гранате отсутствует. Компенсация нарушается после перераспределения  $\text{Mn}^{4+}$ , находящегося в кристалле в качестве примеси, между узельными подрешетками под действием линейно поляризованного света, в результате чего в облученном кристалле появляется двупреломление.

Перераспределение примесных не ян-теллеровских ионов  $\text{Mn}^{4+}$ , кислородное окружение которых в отличие от  $\text{Mn}^{3+}$  не деформировано, может привести не только к раскомпенсации двупреломляющих свойств подсистем, но и к анизотропной деформации граната. Это может быть другим возможным механизмом появления ФЛД в гранатах.

Из предположения о том, что процесс температурного разрушения ФЛД связан с термически активированными перескоками электрона между ионами  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$ , было получено теоретическое выражение, описывающее экспериментальные температурные зависимости ФЛД в марганец-германиевых гранатах. В этой модели рассматриваются переходы электрона только между ближайшими соседями, а переходы между более удаленными ионами не учитываются. Сопоставление экспериментальных и теоретических температурных зависимостей ФЛД позволило определить энергии активации для гранатов  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , которая для обоих кристаллов составила около 900 К.

В главе четвертой приведены результаты по экспериментальному исследованию процессов наведения и релаксации ФЛД в гранатах  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

Как и изучение температурных зависимостей ФЛД, исследование кинетики фотоиндуцированного линейного двупреломления в марганец-германиевых гранатах проводилось с помощью двухлучевой оптической схемы.

Релаксационные зависимости ФЛД  $\Delta n(t)$  измерялись после достижения насыщения величины двупреломления при облучении образца линейно поляризованным светом гелий-неонового лазера. Направление оси поляризации индуцирующего излучения выбиралась таким, чтобы

величина  $\Delta n$  была максимальна.

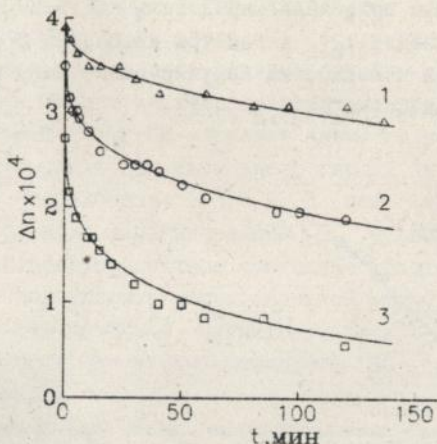


Рис. 2. Релаксация ФЛД в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . Сплошные линии - теоретические зависимости. 1 - 31 К,  $\tau_r = 1800$  мин,  $\beta_r = 0,46$ ; 2 - 89 К,  $\tau_r = 370$  мин,  $\beta_r = 0,42$ ; 3 - 110 К,  $\tau_r = 55$  мин,  $\beta_r = 0,45$ .

Типичные данные по экспериментальному исследованию процесса температурной релаксации в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  приведены на рис. 2. Измерения выполнены для трех температур 31, 89 и 110 К. Как видно из рисунка, с увеличением температуры усиливается релаксационный процесс, приводящий к уменьшению ФЛД.

Оказалось, что временные зависимости  $\Delta n(t)$ , измеренные при наведении и релаксации ФЛД в марганец-германиевых гранатах, удовлетворительно описываются законами  $\Delta n_0 [1 - \exp(-(t/\tau_i)^{\beta_{i1}})]$  и  $\Delta n_0 \exp[-(t/\tau_r)^{\beta_r}]$ . Эти законы работают, если в изучаемых процессах существует дисперсия времен наведения и релаксации эффекта [3, 4]. Для определения закона изменения фотоиндуцированного дву- преломления со временем экспериментальные зависимости  $\Delta n(t)$  перестраивались в логарифмических координатах. На рис. 3 в качестве показана показана перестроенная релаксационная зависимость Са-Мп- граната, измеренная для температуры 89 К. В пределах погрешности измерений экспериментальные точки хорошо укладываются на прямую, что свидетельствует о подчинении экспериментальных зави-

симостей  $\Delta n(t)$  вышеупомянутому закону. Проведенная обработка экспериментальных данных позволила определить постоянные времена наведения  $\tau_1$  и релаксации  $\tau_r$ , параметры дисперсии  $\beta_1$ ,  $\beta_r$  при различных температурах и мощностях индуцирующего излучения для гранатов  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

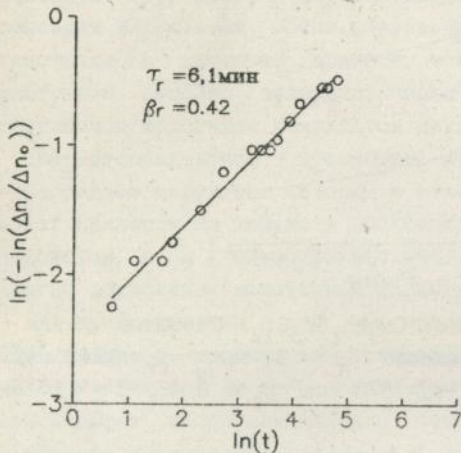


Рис.3. Перестроенная в логарифмических координатах релаксационная зависимость ФЛД граната  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  для температуры 89 К

Причиной возникновения дисперсии времен наведения эффекта  $\tau_1$  в исследованных гранатах может быть существование в кристалле нескольких ориентационно неэквивалентных анизотропных к поглощению линейно поляризованного света центров. Каждый из этих центров может характеризоваться своей вероятностью поглощения света заданной поляризации. Дисперсия характерных времен  $\tau_1$  может также возникнуть и в случае, если процессы фотоиндуцированных перескоков электронов между ионами  $\text{Mn}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{4+}$  происходят не только между ближайшими соседями. Обе эти причины могут вызвать также появление дисперсии характерных времен релаксации  $\tau_r$ . Наличие в кристалле ряда неэквивалентных центров (ян-теллеровских подрешеток) приведет к существованию распределения потенциальных барьеров  $\epsilon$ , которые электроны должны преодолевать при переходе между разновалентными ионами. К такому же результату приведет и учет термоактивационных перескоков электронов не только между ближайшими соседями. Кроме того, наличие в кристалле напряжений и деформаций будет также способствовать появлению дисперсии  $\epsilon$ . Если

предположить, что закон дисперсии носит экспоненциальный характер  $\exp(-\epsilon/kT_0)$ , то, зная  $\beta_r$ , легко определить ширину  $kT_0$  этого распределения. Для обоих кристаллов  $kT_0$  составила около 200 К.

В пятой главе исследуется влияние линейно поляризованного света на перемагничивание антиферромагнитного граната  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

Тетрагональный Ca-Mn-Ge - гранат является неколлинеарным многоподрешеточным полностью скомпенсированным антиферромагнетиком с температурой упорядочения 13,5 К. В нем симметрично разрешено квадратичное по полю намагничивание [5], с помощью которого можно переключить антиферромагнитное состояние кристалла, приложив магнитное поле под углом к тетрагональной оси  $C_4$ . В этом кристалле наблюдается также линейный магнитооптический эффект [6], который давал возможность визуально наблюдать 180-градусные антиферромагнитные домены.

Как уже говорилось выше, индуцированное светом двупреломление в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  связано с процессами переноса заряда от ионов  $\text{Mn}^{3+}$  к ловушкам. Можно было ожидать, что эти же процессы при температурах ниже антиферромагнитного упорядочения приведут к нарушению компенсации магнитных подрешеток и появлению результирующего магнитного момента. Направление индуцируемого момента должно определяться направлениями подрешеточных моментов. Феноменологически появление магнитного момента под действием линейно поляризованного света описывается выражением для обратного линейного магнитооптического эффекта.

Если после облучения кристалла линейно поляризованным светом в кристалле индуцируется магнитный момент, то в магнитном поле энергетическая неэквивалентность двух антиферромагнитных состояний будет определяться не только квадратичным по полю магнитным моментом, но и фотоиндуцированным магнитным моментом. В зависимости от направления наведенного светом магнитного момента процесс перемагничивания в засвеченной области образца должен или задерживаться или стимулироваться.

Экспериментальное исследование влияния линейно поляризованного света на антиферромагнитное перемагничивание осуществлялось следующим образом. Однородно намагниченный образец, помещенный в систему ортогональных соленоидов, засвечивался белым светом интенсивностью  $0,1 \text{ Вт/см}^2$  с плоскостью поляризации параллельной направлению [010] в течение 5 минут. Диаметр засвеченного участ-

тка около 100 мкм. Наблюдение велось в белом свете в скрещенных поляризаторах. После включения наклонного магнитного поля  $H = \{H_x = 0,5 \text{ кЭ}, H_y = 0, H_z = 20 \text{ кЭ}\}$  в засвеченном участке появляется новое антиферромагнитное состояние (рис. 4 - фото 1). При увеличении  $H_z$  до 20,5 кЭ новое антиферромагнитное состояние занимает уже весь засвеченный участок образца (фото 3).

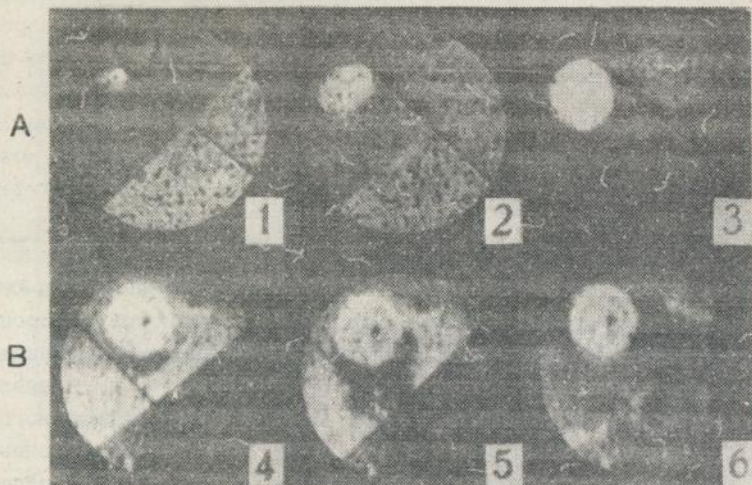


Рис. 4 . Стимулирование и задержка процесса перемагничивания участка пластинки антиферромагнитного Ca-Mn-Ge-граната  
А:  $E \parallel [010]$ ;  $H_x = 0,5 \text{ кЭ}, H_y = 0, H_z$  изменяется от 20 кЭ (фото 1) до 20,5 кЭ (фото 3).  
В:  $E \parallel [100]$ ;  $H_x = 0,5 \text{ кЭ}, H_y = 0; H_z$  изменяется от 20,5кЭ (фото 4) до 21 кЭ (фото 6).

Нижний ряд фотографий рис. 4 иллюстрирует задержку перемагничивания участка образца, засвеченного светом с поляризацией ортогональной предыдущей. По мере увеличения  $H_z$  от 20,5 кЭ (фото 4) до 21 кЭ (фото 6) вновь образовавшийся домен растет и охватывает засвеченный, в котором перемагничивание все еще не происходит.

Обнаруженный фотомангнитный эффект в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  был использован для приготовления полосовой антиферромагнитной структуры в этом образце. Порядок проведения эксперимента был точно

такой как и в предыдущем случае, только образец засвечивался двумя когерентными линейно поляризованными пучками света с ортогональной поляризацией, распространяющимися под углом  $2^\circ$  градуса к оси  $C_4$ . Плоскость поляризации первого и второго пучков была параллельна направлениям  $[010]$  и  $[100]$  соответственно. Интерференция пучков обеспечивала периодическое пространственное изменение поляризации света, что приводило к периодически изменяющимся условиям для переключения антиферромагнитных доменов.



Рис. 5 .Образование полосовой структуры 180-градусных антиферромагнитных доменов в пластинке Ca-Mn-Ge-граната

- 1 - Зафиксированный в образце в однородном антиферромагнитном состоянии рельеф фотонаведенного дупреломления.
- 2 - Появление 180-градусных полосовых антиферромагнитных доменов в магнитном поле  $H = \{ H_1 \approx 1 \text{ кЭ}, H_2 = 24 \text{ кЭ} \}$ .
- 3 - Образовавшаяся полосовая антиферромагнитная доменная структура  $H = \{ H_1 \approx 1 \text{ кЭ}, H_2 = 24,2 \text{ кЭ} \}$ .

На рис. 5 ( фото 1 ) - зафиксированный в образце рельеф фотонаведенного дупреломления. Темные узкие полосы - изображение тех участков, которые облучались светом с поляризацией, близкой к циркулярной. Оси оптической индикатрисы в светлых соседних полосах взаимно ортогональны и параллельны направлениям  $[110]$  и  $[1\bar{1}0]$ . Включение магнитного поля  $H = \{ H_1 = 1 \text{ кЭ}, H_2 = 24 \text{ кЭ} \}$  стимулировало появление полосовых антиферромагнитных доменов ( фото 2 ). Дальнейшее увеличение компоненты  $H_2$  до 24,2 кЭ приводило к образованию хорошо выраженной полосовой антиферромагнитной доменной структуры с периодом около 9 мкм. После стирания циркулярно поляризованным светом наведенной оптической анизотропии - периодического дупреломляющего фона - образец в отсутствие поля

выглядел однородным, но его полосовая доменная структура сохранялась. Эту структуру можно было наблюдать при введении магнитного поля  $H \parallel C_4$ .

В заключении изложены основные результаты и выводы работы:

1. Проведено изучение индуцированной линейно поляризованным светом оптической анизотропии в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и разбавленном гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_{1,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . В котором такое упорядочение отсутствует. Из сопоставления результатов исследований фотоиндуцированной анизотропии в этих кристаллах сделан вывод о существовании связи между фотоиндуцированным линейным дупреломлением и кооперативным эффектом Яна-Теллера в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . Предложены модели возникновения фотоиндуцированного линейного дупреломления в этом кристалле.

2. Обнаружено фотоиндуцированное линейное дупреломление в  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{NaCa}_2\text{Mn}_2\text{V}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  гранатах. Исследована анизотропия, определена температурная область существования и температурная зависимость величины наведенного светом дупреломления в гранате  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ . Сделано предположение о существовании в гранате  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  кооперативного эффекта Яна-Теллера.

3. Изучена кинетика фотоиндуцированного линейного дупреломления в кристаллах  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , определены постоянные времени, наведения и релаксации ФЛД при различных температурах, поляризациях и мощностях индуцирующего излучения.

4. Показано, что процессы наведения и релаксации ФЛД в гранатах  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  описываются законом  $\exp(-(t/\tau)^B)$ , учитывающим дисперсию времен релаксации и записи.

5. Обработка экспериментальных релаксационных и температурных зависимостей фотоиндуцированного линейного дупреломления позволила вычислить энергию активации  $\epsilon$  для гранатов  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Cd}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ , которая для обоих кристаллов составила около 900 К.

6. Впервые в антиферромагнитном гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  обнаружен фотомагнитный эффект, выражающейся в том, что облучение линейно поляризованным светом приводит к стимулированию или задержке процесса антиферромагнитного перемагничивания в этом кристалле.

7. Экспериментально показана возможность приготовления 180-градусной антиферромагнитной доменной структуры заданной конфигурации в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ .

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих

работах:

1. С. Л. Гнатченко, Н. Ф. Харченко, В. А. Бедарев, В. В. Еременко, М. Артинян, Д. М. Девин, А. Ле Галль. Фотоиндуцированное линейное двупреломление и кооперативный эффект Яна-Теллера в марганец-германиевых гранатах // ФНТ. - 1989 - 15. - С. 627-632.
2. Н. Ф. Харченко, В. А. Бедарев. Образование полосовых антиферромагнитных доменов в Ca-Mn-Ge-гранате, помещенном в область интерференции ортогонально поляризованных световых пучков // Письма в ЖЭТФ. - 1992. - 56, в. 7. - С. 360-363.
3. N.F. Kharchenko, V.A. Bedarev. Light-stimulated formation of domain stripe structure in antiferromagnetic Ca-Mn-Ge garnet // Proc. 6nd Int. Conf. on Ferrites. - 1992. - P. 1546-1549.
4. N.F. Kharchenko, V.A. Bedarev, G.N. Babiy, H. Le Gall, and J.M. Desvignes. Photostimulated remagnetization of the antiferromagnetic crystal // Proc. 2nd Int. Symp. Magneto-Optics. - 1992. - 18, N1 - P. 305-308.
5. Н. Ф. Харченко, В. А. Бедарев. Влияние линейно поляризованного света на перемагничивание антиферромагнитного кристалла Ca-Mn-Ge-граната // ФНТ. - 1993. - 19, N1 - С. 72-78.
6. В. А. Бедарев, С. Л. Гнатченко. Кинетика фотоиндуцированного линейного двупреломления в марганец-германиевых гранатах // ФНТ. - 1994. - 20, N2 - С. 124-130.

Список цитированной литературы

1. З. А. Казей, В. И. Миль, В. И. Соколов. Кооперативный эффект Яна-Теллера в гранате  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  // Письма в ЖЭТФ - 1976. - 24, вып. 4. - с. 229-232.
2. С. Л. Гнатченко, В. В. Еременко, С. В. Софронеев, Н. Ф. Харченко. Фотоиндуцированное линейное двупреломление в кристалле с кооперативным упорядочением ян-теллеровских искажений // Письма в ЖЭТФ. - 1983. - 38, вып. 4. - С. 198-201.
3. Harvey Scher, Elliott W. Montroll Anomalous transit-time dispersion in amorphous solids // Phys. Rev. B. - 1975. - 12 N 6. - P. 2455-2477.
4. В. И. Кудинов, А. И. Кирилюк, Н. М. Крейнес. Релаксация замороженной фотопроводимости в пленках  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$  ( $0 < x < 1$ ) // Письма в ЖЭТФ - 1992. - 56, вып. 2. - С. 101-106.

5. S. Shtrikman and D. Treves  
bility in weak ferromagnetism  
on Magnetism (Nottingham, 1965). - London, 1965. - P. 464-467.
6. V. V. Eremenko, N. F. Kharchenko, S. V. Sofroneev, S. L. Gnatchenko,  
H. Le. Gall, I. M. Desvignes Magneto-optical visualization of  
crystal twins in tetragonal antiferromagnetic  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  //  
J. de Phys. - 1988. - 49, Part II. - C8 P. 967-968.

Ответственный за выпуск канд. физ.-мат. наук А. Б. Чижик

подписано к печати 26.09 - 1994г. Физ. п. л. 1

Уч. - изд. л. 1, заказ N 42, тираж 100 экз.