
**НОВЫЕ ПРИБОРНЫЕ РАЗРАБОТКИ
И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ**

УДК 53.082.5 + 621.375.826

© Я. А. Фофанов, И. В. Плешаков, И. М. Соколов

**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ
ОТКЛИКОВ В ОПТИЧЕСКОМ И РАДИОДИАПАЗОНАХ
(ОБЗОР)**

Обзор содержит краткое описание исследований нестационарных явлений в поляризационно-чувствительных оптических схемах и системах радиодиапазона, выполненных в ИАП РАН и ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. При обсуждении оптических измерений особое внимание уделено вопросам повышения их точности и чувствительности. В частности, подробно рассмотрены особенности методов дифференциальной регистрации поляризационно-модулированных сигналов. Предложено применение описанных методов в отражательных конфигурациях. Изучены динамические свойства резонансных границ раздела "диэлектрик—атомарный газ". В части, относящейся к радиодиапазону, приведены результаты исследования откликов в виде сигналов эха в устройствах обработки импульсной радиочастотной информации. Даются сведения об эффекте усиления, присущем параметрическому эхо-сигналу. Аналитические методы, основанные на отражении и просвечивании оптическим излучением, а также на объемном зондировании исследуемых объектов радиочастотными сигналами, рассматриваются как взаимно дополняющие.

Кл. сл.: нестационарные явления, высокочувствительные оптические измерения, модуляция поляризации, селективное отражение, полупроводниковые лазеры, параметрические эхо-сигналы

ВВЕДЕНИЕ

Исследования нестационарных явлений в поляризационно-чувствительных оптических системах продолжают оставаться актуальными в связи с необходимостью дальнейшего развития оптических методов измерений и исследований. В данном обзоре рассмотрены основы методов нестационарных поляризационно-оптических исследований высокой чувствительности. Существенная особенность данных методов заключается в возможности исследования объектов, поляризационные характеристики которых меняются во времени. Такие изменения могут быть обусловлены как особенностями внутренней динамики исследуемых объектов, так и различными внешними воздействиями на них.

Развиваемые подходы позволяют эффективно выделять информативные сигналы и проводить измерения с высокой чувствительностью и разрешающей способностью вплоть до предельных, определяемых шумами зондирующего света. Предметом исследований с помощью развиваемых методов будут как объекты, традиционно изучаемые методами поляризационно-оптического анализа, — материалы с высокой оптической и структурной однородностью, прецизионные оптические элементы, полимеры и т. д., так и новые оптические системы, перспективные для создания маломощных источников когерентного излучения, а также для передачи и обработки информации.

Среди различных экспериментальных подходов, связанных с измерением переменных сигналов, особую группу составляют методы, основанные на наблюдении импульсно возбужденного быстротекущего процесса — нестационарного отклика, например, в виде сигналов эха и индукции спиновой или магнитоакустической природы. Такие методы во многих случаях оказываются весьма эффективными, поскольку позволяют получить о веществе, в котором подобный процесс наблюдается, весьма богатую информацию. В течение многих лет и вплоть до самого последнего времени они используются для изучения самых разнообразных физических систем.

При разработке методик регистрации сигналов любой природы одним из наиболее актуальных является вопрос о возможности увеличить их интенсивность. Особенно это касается рассматриваемых нами сигналов эха и индукции, которые, как правило, весьма слабы. В связи с этим особое значение приобретают исследования круга явлений, позволяющих осуществить параметрическое воздействие и тем самым усилить нестационарные отклики, выделив их на фоне других сигналов в веществах с сильной магнитоупругой связью.

**1. НЕСТАЦИОНАРНЫЙ
ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

При исследованиях характеристик объектов, обладающих малым поляризационным откликом,

существенные преимущества дает использование зондирующего излучения с глубокой модуляцией состояния поляризации [1–3]. Одно из таких преимуществ состоит в переносе наблюдаемых откликов в удобные участки спектра, где можно применять хорошо развитые методы обработки слабых переменных сигналов. Это определяет широкое применение модуляции поляризации в поляризметрических исследованиях и поляризационной спектроскопии, в измерениях состояния и степени поляризации света, линейного и кругового дихроизма и т. д. [3–7]. На разработанном в ИАП РАН "Поляризационно-оптическом анализаторе" (ПОА-1) выполнены циклы исследований прецизионных элементов поляризационной оптики и уникальных образцов оптических материалов с высокой оптической и структурной однородностью [8, 9].

Измерительные схемы с модуляцией поляризации являются по существу нестационарными поляризационными интерферометрами [10]. Еще один фактор нестационарности появляется в данных схемах, если они используются для исследования объектов с меняющимися поляризационными характеристиками [11]. Настоящий раздел посвящен изучению совместного проявления указанных факторов в сигналах поляризационного анализа.

1.1. Устойчивость калибровочно-измерительных процедур с модуляцией поляризации

Значительное место среди исследуемых нестационарных объектов занимают объекты с малым откликом и медленной динамикой [12]. При проведении подобных исследований особенно важной становится корректность процедуры калибровки измерительных схем, т. к. медленный уход их параметров приводит к неконтролируемым систематическим ошибкам и может полностью исказить результаты измерений. Таким образом, обеспечение стабильности калибровки является одной из важнейших проблем при исследованиях динамических процессов [11].

Исследования устойчивости калибровочно-измерительных процедур проводились на анализаторе ПОА-1 [8]. Были реализованы последовательности из многократно повторяющихся процедур калибровки и измерений. Вклад в ошибку измерений вносили при этом как всегда присутствующие случайные, так и целенаправленно вносимые погрешности (осознанные ошибки). Калибровочно-измерительная процедура считалась устойчивой, если результаты измерений в последовательностях не обнаруживали явных тенденций к отклонениям от своих начальных значений.

На рис. 1–4 показаны зависимости, полученные

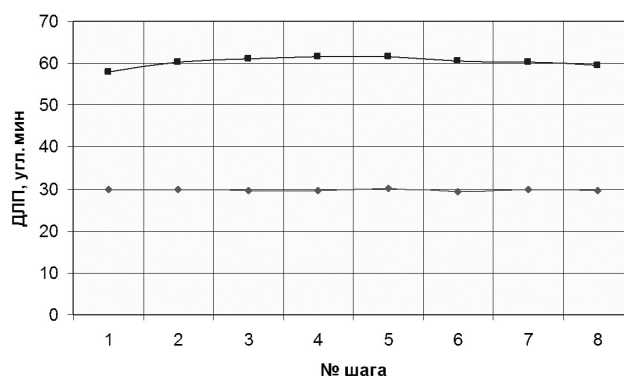


Рис. 1. Сходимость процедуры калибровки. Нулевые показания устанавливаются без ошибки. Нижняя кривая — калибровочный образец; верхняя кривая — измеряемый образец

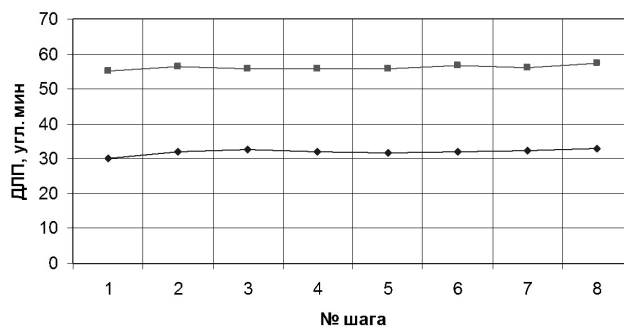


Рис. 2. Сходимость процедуры калибровки. Введение постоянной ошибки установки нуля — +10 угл. мин. Нижняя кривая — калибровочный образец; верхняя кривая — измеряемый образец

при последовательных измерениях двулучепреломления (ДЛП) первого (калибровочного) и второго (исследуемого) образцов. На каждом этапе выполнялось по одной стандартной калибровочной и измерительной процедуре [3, 13]. На первом шаге осуществлялась калибровка ПОА-1 по калибровочному образцу, после чего измерялся второй образец. На втором шаге в качестве калибровочного использовался второй образец, и измерялось ДЛП первого образца. Полученное значение ДЛП для первого образца использовалось для калибровки на третьем шаге, после которой снова измерялся второй образец. На последующих шагах описанные процедуры калибровки и измерений повторялись, причем исследуемый и калибровочный образцы периодически менялись ролями.

Если показания ПОА-1 при отсутствии образцов устанавливались равными нулю (осуществлялась балансировка нуля), то полученные зависимости имели характерный вид, показанный на рис. 1. Видно, что значения ДЛП для калибровочного

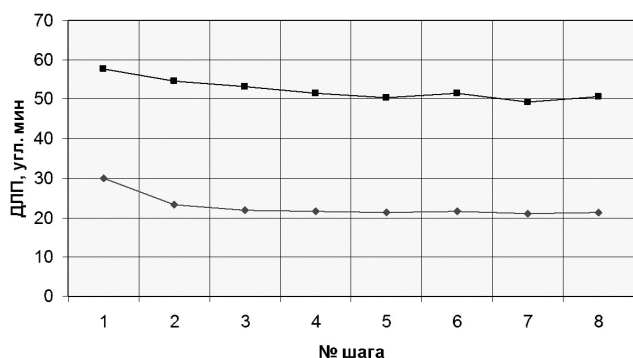


Рис. 3. Сходимость процедуры калибровки. Введение постоянной ошибки установки нуля — -10 угл. мин. Нижняя кривая — калибровочный образец; верхняя кривая — измеряемый образец

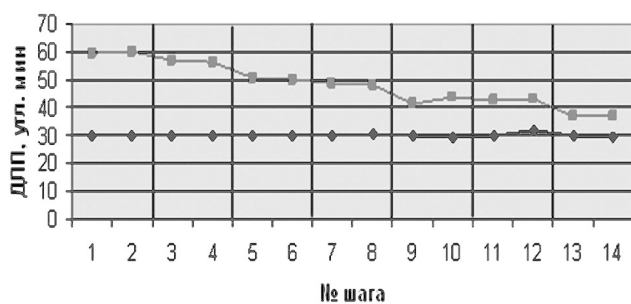


Рис. 4. Сходимость процедуры калибровки. Введение ошибки установки нуля: 0 угл. мин (шаги 1, 2); 5 угл. мин (шаги 3, 4); 10 угл. мин (шаги 5, 6); 15 угл. мин (шаги 7, 8); 20 угл. мин (шаги 9, 10); 25 угл. мин (шаги 11, 12); 30 угл. мин (шаги 13, 14). Нижняя кривая — калибровочный образец; верхняя кривая — измеряемый образец

и исследуемого образцов, полученные на втором и последующих шагах, несколько отличаются от своих начальных значений, т. е. от значений, соответствующих первому шагу. В то же время не наблюдается заметных тенденций ухода ДПП в сторону меньших или больших значений по сравнению с начальными. В соответствии с принятым выше определением калибровочно-измерительную процедуру в данном случае можно считать устойчивой. Зависимости, показанные на рис. 2, получены аналогично зависимостям на рис. 1 с тем отличием, что при отсутствии образцов показания ПОА-1 всегда устанавливались равными $+10'$ (осознанная ошибка). Как видно, и в этом случае калибровочно-измерительная процедура остается устойчивой.

При получении зависимостей, показанных на рис. 3, показания ПОА-1 при отсутствии образцов всегда устанавливались равными $-10'$. В результате полученные значения ДПП имеют явную тен-

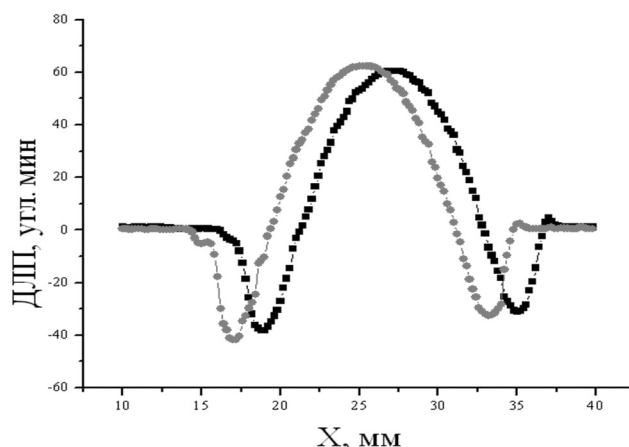


Рис. 5. Поперечное распределение ДПП калибровочного образца, полученное при статических (правая кривая) и динамических (левая кривая) измерениях

денцию к снижению. Это позволяет сделать вывод о том, что калибровочно-измерительная процедура становится неустойчивой. Данный вывод подтверждается зависимостями на рис. 4. При получении этих зависимостей показания ПОА-1 в отсутствие образцов постепенно увеличивались, что привело к явной потере устойчивости калибровочно-измерительной процедуры.

Проведенные исследования показывают таким образом, что калибровочно-измерительные процедуры всегда устойчивы по отношению к имеющимся случайным погрешностям. В случае целенаправленно вносимых погрешностей процедура калибровки остается устойчивой, если осознанные ошибки (например, ошибка установки нулевых показаний) много меньше характерных средних значений измеряемых величин [11].

1.2. Исследования объектов с медленной динамикой

Описанные выше устойчивые калибровочно-измерительные процедуры были использованы в работах, направленных на развитие поляризационно-оптических методов на применительно к исследованиям объектов, обладающих медленной собственной динамикой. При этом были исследованы динамические поляризационные характеристики различных образцов, в том числе образцов, которые используются для калибровки. Динамика образцов моделировалась их перемещением (сканированием). В случае калибровочных образцов это позволило сравнить их собственные (калибровочные) параметры образца с полученными динамическими параметрами и оценить тем самым корректность процедур калибровки и измерений в динамике.

На рис. 5 представлено поперечное распределение ДПП исследуемого образца. Распределение

ДЛП на левой кривой получено при времени сканирования, равном трем минутам. Результаты подобных измерений практически эквивалентны статическим измерениям, при которых образец неподвижен. Правая кривая получена при времени сканирования, составляющем 20 с, что позволяет рассматривать результаты, представленные этой кривой, как динамические измерения. При получении этой зависимости были соответствующим образом подобраны параметры аналоговой обработки информативных сигналов [13]. Как видно, значения ДЛП для обеих кривых отличаются менее чем на 10 %.

Были проведены также динамические исследования поляризационных характеристик других образцов. Сравнение полученных результатов показало принципиальную возможность динамической калибровки анализатора ПОА-1 и проведения с его помощью динамических измерений. В качестве примера перспективного применения данных методов можно привести, например, изучение биологических жидкостей и структур, характерные времена изменений (отклика) которых составляют порядка 0.1–0.01 с [11, 12].

1.3. Нестационарные поляризационно-оптические исследования

При исследованиях поляризационных откликов в условиях, описанных выше в разделах 1.1 и 1.2, отношение сигнал/шум не является критическим, и измерения могут быть проведены в рамках стандартных измерительных процедур [3, 8, 13]. По мере уменьшения величины регистрируемых нестационарных сигналов на первый план выходит проблема повышения чувствительности [14]. Заметные преимущества в этом случае может дать дополнительное детектирование выходного сигнала поляризационного анализатора [11].

Поскольку поляризационные характеристики исследуемых объектов имеют свои собственные характерные частоты нестационарных изменений, то важен выбор частоты этого вторичного детектирования. При правильном выборе появляются дополнительные возможности исключения из результатов измерений вкладов, вносимых шумами зондирующего излучения, поверхностными поляризационными эффектами и флуктуациями параметров измерительного тракта. Данный раздел посвящен анализу преимуществ вторичного детектирования при регистрации нестационарных поляризационных откликов.

Экспериментальные исследования, направленные на разработку методик нестационарного поляризационно-оптического мониторинга высокой чувствительности, были выполнены на анализаторе ПОА-1 [8]. Нестационарные свойства образцов

контролируемо моделировались несколькими способами:

- воздействием внешней периодической силы, изменяющей их оптические свойства в силу упругооптических эффектов;
- приложением переменных электрических полей (например, к слоям жидких кристаллов);
- сканированием пространственно неоднородных образцов, приводящим к вариациям сигнала в нужной спектральной области.

Для анализа сигналов, обусловленных динамикой исследуемых объектов, ПОА-1 был дополнен анализатором спектра. Он измерял переменную составляющую выходного сигнала ПОА-1 в требуемой области частот.

Степень подавления неинформативных (шумовых) сигналов характеризуется величиной $k_s = k_{sn} / k_{sn \max}$, где k_{sn} — отношение сигнал/шум на выходе ПОА-1, определяемое с помощью анализатора спектра; $k_{sn \max}$ — максимальное соотношение сигнал/шум. На рис. 6 представлены характерные зависимости k_s от f/f_0 , где f_0 — характерная частота, определяемая шумовыми характеристиками используемых лазеров и выбранным режимом измерений ПОА-1.

Кривая 1 на рис. 6 соответствует режиму, в котором предварительная высокочастотная модуляция поляризации была выключена, а сигнал ПОА-1 измерялся напрямую анализатором спектра, настроенным на частоту модуляции исследуемого объекта. Кривая 2 показывает результаты измерений, полученные в другом случае, когда вследствие предварительной глубокой поляризационной модуляции зондирующего лазерного излучения происходил перенос спектра актуальных сигналов в высокочастотную область. Анализатор спектра был при этом подключен к выходу ПОА-1 и также

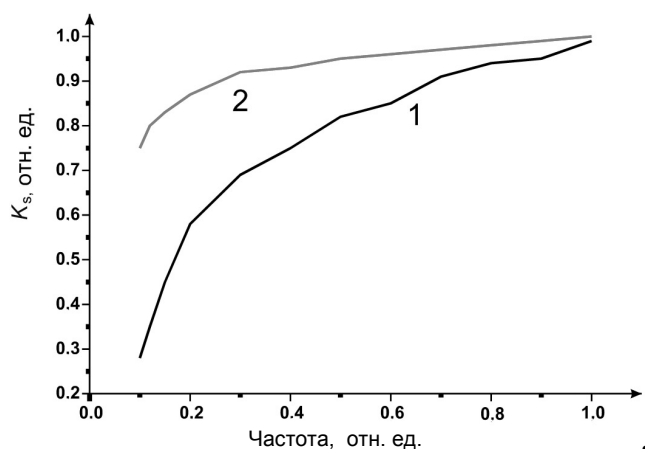


Рис. 6. Зависимости соотношения сигнал/шум K_s от частоты модуляции. Пояснения в тексте

настроен на частоту модуляции исследуемого объекта.

Как видно из рис. 6, на частотах $f < f_0$ кривая 2 лежит заметно выше кривой 1. На частотах $f \approx \approx 0.1 f_0$ соотношение сигнал/шум при наличии предварительной модуляции поляризации приблизительно в 3 раза выше, чем при прямых измерениях. Это определяется, главным образом, тем, что при прямом детектировании сигнала ПОА-1 и понижении частоты модуляции исследуемого объекта в результаты измерений начинают вносить заметный вклад низкочастотные флуктуации, определяемые шумами фотоприемных устройств, флуктуациями параметров лазерного излучения и т. д.

Аналогичные результаты были получены и при быстром сканировании исследуемых объектов. Если скорость сканирования выбиралась таким образом, что характерные частоты получаемых при этом сигналов удовлетворяли соотношению $f < f_0$, то предварительная поляризационная модуляция также давала заметный (в 2–3 раза) выигрыш в соотношении сигнал/шум.

Таким образом, сравнительные исследования образцов, нестационарный характер которых определялся различными причинами, показали, что при соответствующем выборе методов аналоговой обработки сигналов поляризационно-оптического анализа могут быть зарегистрированы отклики, обусловленные вариациями поляризационных характеристик исследуемых образцов.

2. ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-МОДУЛИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В целом ряде случаев повышение чувствительности и точности измерений, достигнутое благодаря применению поляризационной модуляции, может оказаться недостаточным. В частности это может относиться к исследованиям объектов с медленной динамикой. Определенным недостатком традиционных схем построения поляризационных анализаторов является то, что даже при отсутствии потерь в исследуемом объекте, фотоприемник регистрирует только ту часть выходящего из объекта излучения, которую пропускает анализатор. Помимо этого, флуктуации источников света, приводящие к флуктуациям фототока в полосе частот модуляции, воспринимаются как полезный сигнал. Повышение величины сигнала, а также понижение уровня собственных флуктуаций измерительной установки может быть достигнуто при использовании оптических схем, в которых традиционная процедура модуляционных поляризационных измерений сочетается с дифференциальной регистрацией полезных сигналов. В этих схемах анализ поляризации пробного излучения осуществляется с помощью поляризационного делителя на основе измерения разностного тока двух фотодетекторов, помещенных в его разные выходные

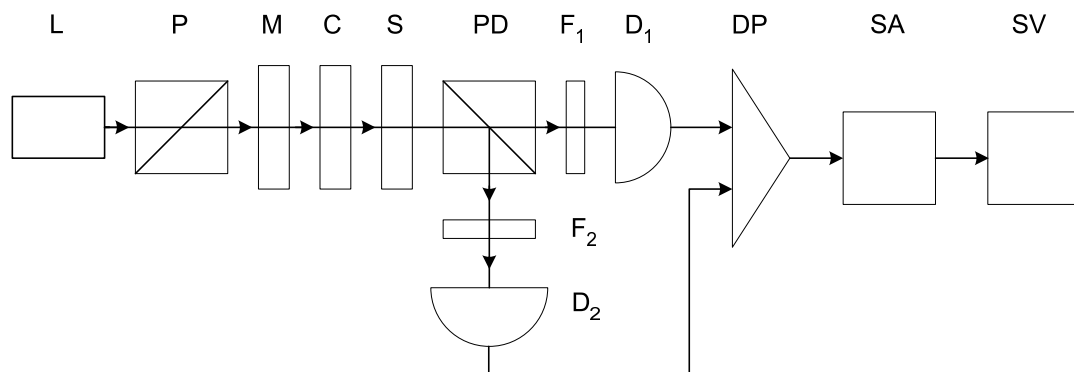


Рис. 7. Блок-схема экспериментальной установки.

L — лазер; P — поляризатор; M — фотоупругий модулятор; C — компенсатор; S — исследуемый образец; PD — поляризационный делитель; F_1, F_2 — аттенюаторы; D_1, D_2 — фотодиоды; DP — дифференциальный преобразователь; SA — спектроанализатор; SV — селективный вольтметр

каналы. Такой способ находит все большее применение как высокочувствительный инструмент широкого круга исследований [7, 8, 10, 14–16]. Детальное экспериментальное и теоретическое исследование особенностей и перспектив применения этого метода к задачам прецизионной поляриметрии было проведено в работах [17–19].

2.1. Дифференциальная регистрация поляризационно-модулированных оптических сигналов

Типичная схема измерений оптической анизотропии с модуляцией поляризации зондирующего излучения и дифференциальной схемой подавления шумов показана на рис. 7. Свет от лазера L проходит через поляризатор P , который улучшает стабильность положения плоскости поляризации; затем — через фотоупругий модулятор M , создающий периодически меняющуюся во времени разность фаз между ортогональными линейно поляризованными компонентами поля, что приводит к периодическому изменению состояния поляризации. Модулированное по поляризации пробное излучение проходит далее через компенсатор C , исследуемый образец S и попадает на поляризационный делитель PD . Компенсатор — плоскопараллельная пластинка с известным двулучепреломлением φ_c . Сигнал с выхода дифференциального преобразователя DP , пропорциональный разности фототоков фотодиодов D_1 и D_2 , подается на анализатор спектра SA (в ряде случаев вместо спектроанализатора удобнее применять синхронный детектор). Селективный вольтметр SV предназначен для анализа шумов выходного сигнала спектроанализатора.

Схема, показанная на рис. 7, дополнена двумя аттенуаторами F_1 и F_2 с коэффициентами пропускания k_1 и k_2 . Они использовались в наших экспериментах [17] и предназначались для внесения регулируемой асимметрии в каналы регистрации. Это давало возможность исследовать характер работы схемы, в частности степень подавления избыточных шумов при различных условиях балансировки, т. е. различных коэффициентах асимметрии схемы $k_a = (k_1 - k_2) / (k_1 + k_2)$. Заметим, что в традиционных схемах измерений с модуляцией поляризации, применяемых, например, в эллипсометрии, в отличие от схемы, изображенной на рис. 7, вместо поляризационного делителя используют анализатор, излучение после которого регистрируется одним фотодетектором.

Одной из основных целей экспериментов [17] было проанализировать, как меняется точность измерений в зависимости от типа используемого поляризационного анализатора. Как известно, существует два основных практически применяемых

варианта взаимных ориентаций оптических осей элементов анализатора. В традиционной модуляционной эллипсометрии их принято обозначать конфигурациями II и III [2]. В конфигурации II поляризатор развернут под углом 45° к главным осям модулятора, главные оси поляризационного делителя ориентированы одна — вдоль оси поляризатора, другая — перпендикулярно ей. В конфигурации III взаимные ориентации поляризатора и модулятора совпадают с конфигурацией II, а оси поляризационного делителя развернуты на 45° . Измерения, выполненные в работе [17], показали, что применение дифференциальных схем может повысить чувствительность измерений, однако такое повышение происходит для двух конфигураций существенно по-разному. Наибольшее подавление избыточных шумов и повышение точности измерений было обнаружено в конфигурации III. В рассматриваемых экспериментальных ситуациях для этой конфигурации наблюдалось подавление избыточных флуктуаций пробного лазерного излучения приблизительно в 9 раз по сравнению со случаем использования одного фотоприемника. При этом была достигнута пороговая, на уровне дробовых шумов чувствительность измерений малого двулучепреломления. Для поляризационной схемы II наблюдалось значительно меньшее подавление избыточных шумов и сильная асимметрия шумовых характеристик в зависимости от параметра балансировки k_a .

Помимо влияния типа схемы поляризационного анализа в работе [17] была исследована зависимость точности измерений от степени анизотропии исследуемых объектов и глубины модуляции зондирующего света. Результаты измерений для различных параметров двулучепреломления φ и различных глубин модуляции A пробного излучения для двух поляризационных схем показаны на рис. 8.

2.2. Теоретический анализ нестационарных откликов дифференциального поляризационного анализатора

Для определения оптимальных условий динамических измерений и для объяснения результатов экспериментов, описанных в разделе 2.1, был выполнен теоретический анализ процессов формирования сигналов в схеме на рис. 7 [18, 19]. Теоретическое исследование чувствительности и точности измерений нестационарных поляризационных откликов потребовало решения двух взаимосвязанных задач — адекватного описания измеряемой величины и вычисления погрешностей ее измерения. Обе эти задачи удалось решить аналитически. При этом обнаружено, что максимальный сигнал, который можно наблюдать в схеме II при различных ориентациях осей образца по от-

ношению к осям модулятора, совпадает с максимальным сигналом, наблюдаемым в схеме III. Подобное совпадение означает, что с точки зрения оптимизации наблюдаемых сигналов обе схемы могут рассматриваться как равноправные. Это однако не означает, что возможности схем полностью эквивалентны. Расчет погрешностей измерений показал, что обнаруженное в эксперименте различие эффективности работы этих схем связано с разным характером подавления ими шумов.

В схеме II в спектре фототоков двух каналов регистрации присутствуют сильные компоненты на четных гармониках частоты модуляции. Эти гармоники не влияют на наблюдаемый сигнал, поскольку подавляются спектроанализатором, однако они оказывают существенное влияние на флуктуации этого сигнала. Эти же гармоники поразному проявляются в двух каналах балансного фотоприемника, что обуславливает асимметрию в работе схемы II. В схеме III эти гармоники отсутствуют. Конфигурация III обладает значительно лучшей способностью к подавлению шумов источника пробного излучения.

Результаты части расчетов, проведенных в [18, 19], представлены на рис. 8. При сравнении с экспериментальными данными оказалось, что для определения отношения сигнал/шум помимо условий эксперимента — величины двулучепреломления образца, частоты наблюдения флуктуаций сигнала спектроанализатора и коэффициента асимметрии балансной схемы — необходимо задать два параметра. Первый — уровень спектральной плотности шумов пробного излучения и коэффициента пропускания установки на низких частотах (в эксперименте 1000 Гц); второй — плотность шумов источника света на частоте модуляции (50 000 Гц). Оба этих параметра R_1 и R_2 достаточно задать в безразмерных единицах — по отношению к уровню дробового шума. Анализ конкретной установки показал, что в проводимых экспериментах эти параметры имеют следующие значения: $R_1 = 120$; $R_2 = 30$. При этом, как видно из рис. 8, наблюдается не только качественное, но и хорошее количественное совпадение результатов теории и эксперимента.

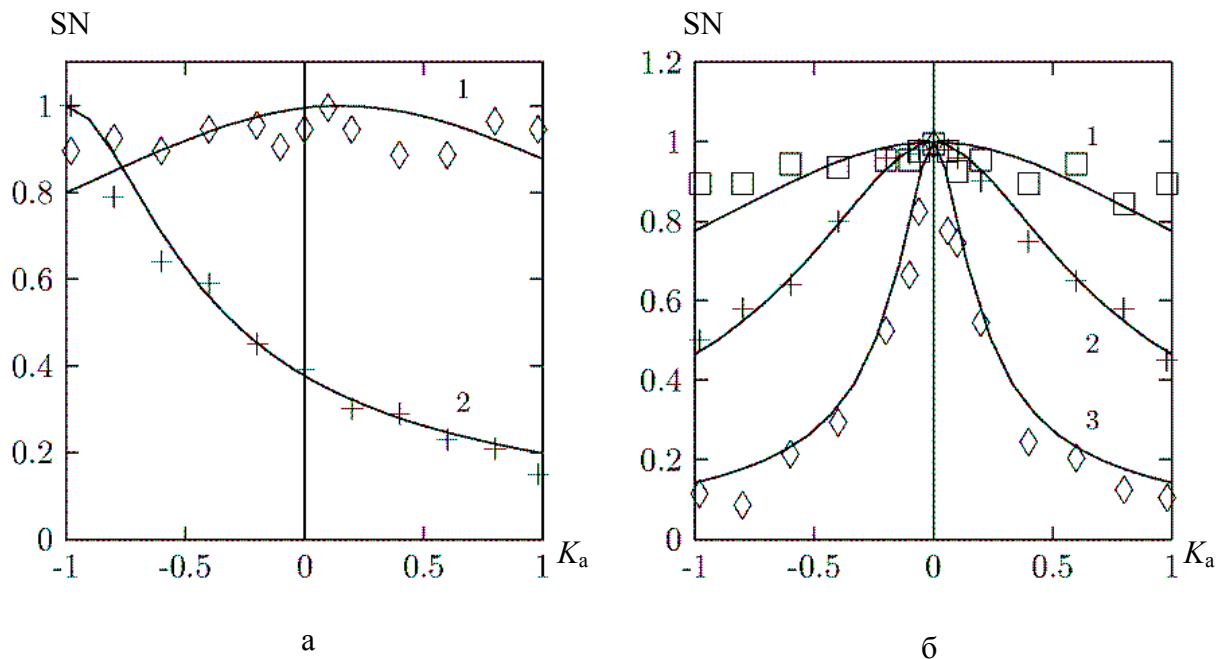


Рис. 8. Отношение SN сигнала двойного лучепреломления к уровню шумов выходного каскада, соответствующих частоте 1000 Гц.

Непрерывные кривые — результат расчета, четырехугольниками и знаками + показаны результаты эксперимента [17]. а — соответствует конфигурации II: кривая 1 — $A=2.4$, $\varphi=1.2$; кривая 2 — $A=1$, $\varphi=1.2$. б — соответствует конфигурации III: кривая 1 — $A=1$, $\varphi=0.05$; кривая 2 — $A=1$, $\varphi=0.4$; кривая 3 — $A=0.1$, $\varphi=0.05$. Все кривые построены при $R_1=120$, $R_2=30$

В заключение этого раздела отметим, хотя для конфигурации III оптимизация параметров измерений дает возможность повысить отношение сигнал/шум в десятки раз, при ее использовании не полностью подавляются низкочастотные флуктуации интенсивности пробного излучения и параметров оптоэлектронного тракта [19]. В связи с этим проблема дальнейшего улучшения методик поляризационных измерений остается актуальной. По нашему мнению, одним из наиболее перспективных направлений совершенствования может стать использование субпуассоновских источников пробного света — источников света с уровнем шумов ниже дробовых [20, 21].

3. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОТКЛИКИ РЕЗОНАНСНОЙ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА

Описанные выше оптические методы, основанные на просвечивании, дают возможность исследовать поляризационные характеристики достаточно прозрачных объектов. Для материалов и сред, обладающих заметным поглощением, значительно более эффективными оказываются методы, в которых изучаются поляризационные характеристики отраженного от исследуемых объектов света [21, 22]. Особый интерес в этом плане представляет изучение резонансного (селективного) отражения, т. е. отражения света от границы диэлектрик—атомарный газ вблизи спектральных линий. Это явление известно достаточно давно и находит главным образом спектроскопические применения [23–30]. Перспективным представляется также его использование для частотной стабилизации лазеров и для исследований взаимодействия возбужденных атомов с поверхностью [31–36].

Отметим, что несмотря на большой интерес и перспективы практического применения селективного зеркального отражения его исследования ограничивались в основном стационарными случаями. Исследования динамических характеристик селективно отражающих систем практически не проводились. Возможности управления интенсивностью и флуктуациями света, распространяющегося в данных системах, обсуждаются в работах [21, 22]. В данном разделе описаны некоторые особенности указанных нестационарных откликов.

3.1. Квазиуровни интенсивности резонансно отраженного света

Экспериментальные установки, на которых исследовались нестационарные отклики резонансной границы раздела, подробно описаны в [22]. В качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазер, который был синхронизирован внешним резонатором [20]. Лазерное излучение ($\lambda = 0.78$ мкм) отражалось от внутренней

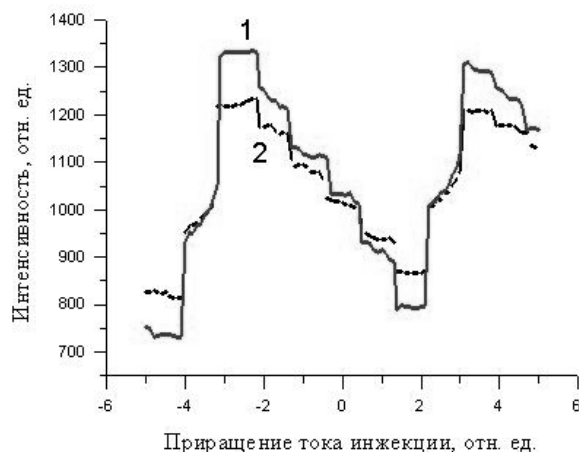


Рис. 9. Квазиуровни интенсивности резонансно отраженного света.

1 — линейное отражение; 2 — отражение с насыщением

поверхности окна кюветы, наполненной парами рубидия, и регистрировалось фотоприемным устройством. Отметим, что в исследуемом нами случае селективного отражения в наклонной геометрии поляризационные отклики достаточно сильны [37], и для их изучения нет необходимости использовать какие-либо специальные методики, например связанные с модуляцией поляризации падающего излучения. Поэтому было реализовано "прямое" наблюдение, при котором регистрировалась интенсивность отраженного света и его флуктуации.

При сканировании инжекционного тока лазера динамика системы определялась двумя факторами: скачкообразной перестройкой частоты генерации лазера в соответствии с модовой структурой внешнего резонатора и сравнительно плавной перестройкой частоты в промежутках между скачками [20, 22]. В результате на резонансах отражения наблюдались характерные ступени — квазиуровни интенсивности.

На рис. 9 показана интенсивность отраженного света в зависимости от тока инжекции, полученная в области резонанса отражения. Хорошо видны квазиуровни интенсивности, ширина которых задается межмодовым расстоянием, а интенсивность определяется интенсивностью падающего света и условиями отражения. Кривая 1 на рис. 9 соответствует линейному отражению, когда поверхностная плотность мощности падающего света мала по сравнению с насыщающей. Кривая 2 снята при большей плотности мощности, сопоставимой с насыщающей. Как видно, оптическое насыщение резонансов отражения приводит к смещению квазиуровней.

3.2. Модуляционно-сигнальные характеристики квазиуровней

На рис. 10 показана одна из характерных зависимостей интенсивности отраженного света, наблюдавшихся при дополнительной модуляции тока инжекции с помощью внешнего генератора. Видно, что регистрировалась соответствующая модуляция интенсивности квазиуровней. Указанная модуляция моделирует передачу информативных сигналов с помощью рассматриваемой системы. При этом степень модуляции квазиуровней зависит как от конкретного квазиуровня, так и от значения тока инжекции в пределах квазиуровня. На одном из квазиуровней наблюдается подавление сигнала модуляции: коэффициент модуляции интенсивности снижается более чем в десять раз [22].

3.3. Флуктуации квазиуровней

Для исследований уровня шума квазиуровней использовался анализатор спектра, подключаемый к фотоприемному устройству. Характерная зависимость сигнала детектора анализатора показана на рис. 11. Величина данного сигнала зависит от конкретного квазиуровня интенсивности и от положения на квазиуровне. Причем минимальный уровень шума, показанный на рис. 11, сопоставим с дробовым (фотонным) шумом фотоприема [21].

Проведенные исследования показывают, таким образом, что существуют определенные возможности управления интенсивностью и флуктуациями отраженного излучения в исследуемой системе. При захвате частоты лазера внешним резонатором возникают квазиуровни интенсивности, высота которых определяется, в частности, степенью насыщения резонансов отражения лазерным полем. На квазиуровнях существуют малозаметные

режимы отражения, имеющие различную чувствительность к внешним сигналам [22].

Отметим также, что появляется необходимость использования модуляции поляризации для исследования резонансных границ раздела. Чрезвычайно перспективным в этом плане представляется изучение нелинейных структур, возникающих при резонансном отражении света [38]. Малый контраст и поляризационная чувствительность наблюдаемых структур указывают на целесообразность развития и применения высокочувствительных поляризационно-оптических методов их исследований [18, 19].

4. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОТКЛИКИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Аналитические методы, основанные на отражении и просвечивании исследуемых объектов лазерным излучением, естественно дополняются методами, в которых осуществляется объемное зондирование исследуемых объектов радиочастотными импульсами. Получаемые в результате детектирования нестационарные отклики несут информацию о свойствах исследуемых объектов, которую далеко не всегда можно получить оптическими методами.

4.1. Взаимодействие электромагнитного излучения с неоднородными уширенными ансамблями осцилляторов

Изучение нестационарных откликов (сигналов эха) физических систем на радиочастотные импульсы [39] представляет интерес не только с точки зрения изучения материалов, в которых они образуются, но имеет также некий "информационно-аналитический" аспект. Существование опреде-

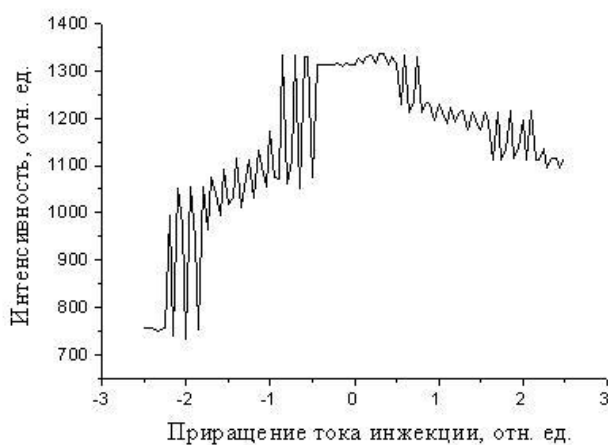


Рис. 10. Нестационарные отклики на квазиуровнях

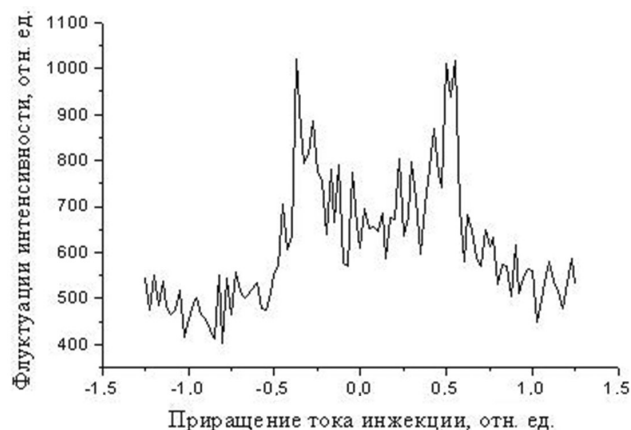


Рис. 11. Флуктуации квазиуровней

ленных функциональных зависимостей поляризационного эха от вида входных импульсов дает возможность осуществлять различные преобразования и анализ информации, поступающей на вход устройства (эхо-процессора): задержку, фильтрацию, сжатие и др. [40, 41]. Простейшим примером является возбуждение двухимпульсного эхо-сигнала, когда на некоторую физическую систему подается последовательность двух радиочастотных импульсов, вызывающих появление отклика, задержанного относительно первого импульса на время, равное удвоенному интервалу между ними. Информационным импульсом, как правило, считается первый, и тогда второй играет роль управляющего (считывающего).

К числу нестационарных откликов рассматриваемого типа относится широко известное спиновое эхо, и в этом случае физической системой является ансамбль ядерных или электронных магнитных моментов рабочего вещества. Конечно, это — система далеко не единственная, в которой могут наблюдаться нестационарные отклики, они не обязательно должны иметь спиновую природу. По ряду причин перспективными считаются, например, также магнитоакустические эхо-сигналы, которые при определенных условиях можно возбудить в магнитоупорядоченных материалах, [42, 43]. Однако независимо от механизма образования все упомянутые отклики во многом обладают похожими свойствами.

В работах [44, 45] изучались информационно-аналитические аспекты нестационарного взаимодействия электромагнитного излучения с неоднородно уширенным ансамблем спинов $1/2$ в магнитоупорядоченных веществах в условиях многоимпульсного ЯМР; экспериментально и теоретически исследованы сопровождающие его нестационарные когерентные явления. Было показано, что предложенная модель многоимпульсной программируемой вычислительной среды с памятью, регистровой структурой и векторными носителями информации позволяет проследить за процессами формирования в материале когерентных откликов. Созданы аппаратно-инструментальные средства и методы диагностики параметров рабочих веществ, предназначенных для проведения вычислений с помощью спиновых систем, оптимизированы вычислительные процедуры в эхо-процессорах, а также выполнено моделирование перспективных вычислительных элементов. Данные результаты расширяют понимание характера поведения ядерных спинов в условиях магнитного резонанса при возбуждении сложными последовательностями радиоимпульсов и создают основу для разработки алгоритмов программируемого управления потоками информации в таких системах при решении ряда практических задач в области информацион-

ных технологий, приборостроении, химии, медицинской диагностики и техники.

4.2. Параметрические эхо-сигналы для аналитических и информационных систем

Вследствие своей функциональной гибкости устройства, работа которых основана на эффекте эха, могли бы широко использоваться для обработки информации [40]. К сожалению, в настоящее время их применение сдерживается некоторыми присущими им недостатками, к числу которых относится малая амплитуда выходного сигнала. Нами был изучен особый тип отклика, обладающий необычным свойством — возможностью усиливаться под действием управляющего импульса. Это так называемое параметрическое эхо — сигнал, возникающий в физической системе при внешнем воздействии на собственные частоты составляющих ее осцилляторов, [46, 47]. В работах [43, 48–50] рассмотрен механизм формирования магнитоакустического параметрического эха, получено выражение для спектра данного сигнала, определена область его применимости, а также продемонстрировано, каким образом происходит усиление отклика.

Теоретические положения проверены экспериментально на сигнале параметрического эха, образующемся в магнитоупорядоченном веществе с сильным магнитоупругим взаимодействием (борате железа). Экспериментальные и теоретические зависимости амплитуды эхо-сигнала от амплитуды и длительности параметрического импульса показаны на рис. 12.

Было установлено, что при соблюдении определенного ограничения (условия линейности) для спектра параметрического эха справедливо выражение, аналогичное соответствующим выражениям для двухимпульсного эха иной природы (например, спинового). Это означает, что во временной области сигнал параметрического эха описывается соотношением типа свертки и, следовательно, обладает теми же функциональными возможностями, что и другие сходные отклики. Параметрическое эхо, однако, выгодно отличается тем, что допускает возможность усиления, причем при умеренных уровнях последнего, без существенного искажения спектра. Мы предполагаем, что данное обстоятельство делает возможным использование параметрического эха в устройствах обработки и передачи информации. Кроме того, сигнал эха несет информацию о свойствах рабочего вещества, что открывает также перспективы его использования для исследования материалов.

Отметим, что, поскольку наше рассмотрение в теоретической части носило общий характер, в принципе описанными выше особенностями должны обладать эхо-сигналы, образующиеся

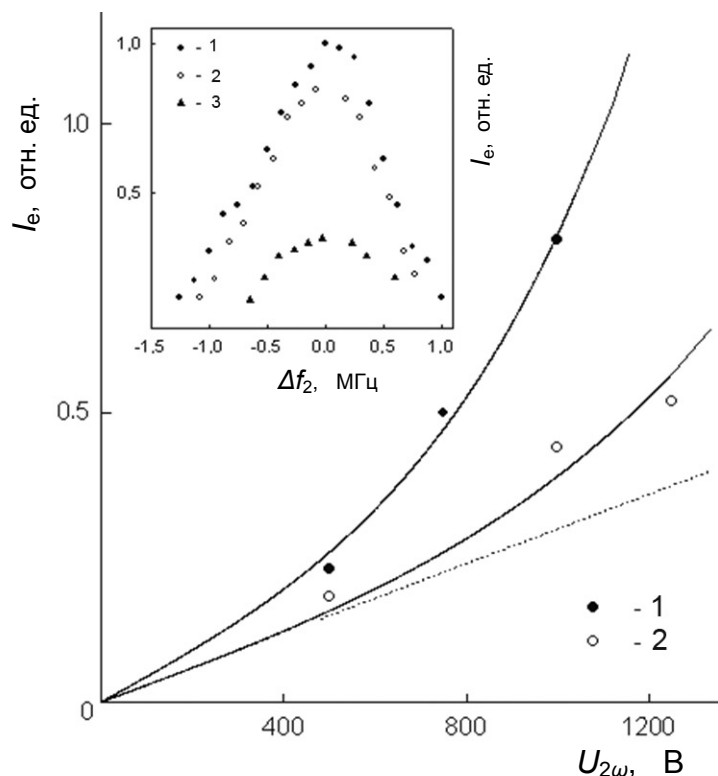


Рис. 12. Зависимость амплитуды эхо-сигнала от амплитуды параметрического импульса. Теоретические кривые — сплошные линии, точки — эксперимент, пунктир — прямая линия. 1 — длительность 1-го имп. $\tau_{\omega} = 4$ мкс, 2-го имп. $\tau_{2\omega} = 3$ мкс; 2 — $\tau_{\omega} = 4$ мкс, $\tau_{2\omega} = 2$ мкс. На вставке: спектры эхо-сигнала при разных уровнях параметрического возбуждения: 1 — $U_{2\omega} = 1250$ В; 2 — $U_{2\omega} = 1000$ В; 3 — $U_{2\omega} = 500$ В

по параметрическому механизму в других физических системах. С этой точки зрения большой интерес могло бы представить изучение аналогичных явлений в оптическом диапазоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рассмотренных выше работах заложены методические основы исследований поляризационных характеристик нестационарных объектов. Тем самым значительно расширены возможности развитых ранее высокочувствительных методов лазерных поляризационно-оптических исследований. Изучена устойчивость динамических калибровочных процедур разработанного в ИАП РАН высокочувствительного "Поляризационно-оптического анализатора". Показано, что процедура калибровки устойчива по отношению к случайным погрешностям. В случае целенаправленно вносимых погрешностей процедура калибровки остается устойчивой, если такие погрешности (осознанные ошибки) много меньше характерных средних значений измеряемых величин. Начаты исследования, направленные на развитие методов высокочувствительного лазерного поляризационно-оптического анализа применительно к исследуемым объектам, обладающим собственной медленной динамикой, характерной для биологических жидкостей и структур.

Показана перспектива применения высокочувствительных поляризационно-оптических методов исследований для изучения нелинейных структур, возникающих при резонансном отражении света от субмикронных границ раздела. Сформулирована проблема и продемонстрированы некоторые результаты исследования процессов преобразования на таких границах оптических шумовых и информационных сигналов.

Представленное рассмотрение дополнено анализом методов, в которых осуществляется объемное зондирование исследуемых объектов радиочастотными импульсами. Установлено, что нестационарные отклики физических систем (сигналы эха), формирующиеся по параметрическому механизму, должны рассматриваться, как усиленные. В ряде случаев за счет поступления в систему энергии из параметрических импульсов указанные отклики могут превосходить входной сигнал, возбужденный резонансным импульсом. На эксперименте достигнуто значительное (в несколько раз) увеличение эхо-сигнала. Данное свойство может быть использовано в эхо-процессорах — устройствах обработки импульсной информации на основе нестационарных откликов, для которых остро стоит проблема поднятия чувствительности. Учет изученных в работе эффектов также может оказаться полезным при аналитических исследованиях различных физических систем (ядерных спи-

нов, акустических мод и т. д.) и материалов с помощью импульсных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jasperson S.N., Schnetterly S.E.* An Improved Method for High Reflectivity Ellipsometry Based on a New Polarization Modulation Technique // *Rev. Sci. Instr.* 1969. V. 40, N 6. P. 761–767.
2. *Acher O., Bigan E., Drevillon B.* Improvements of Phase-Modulated Ellipsometry // *Rev. Sci. Instrum.* 1989. V. 60, N 1. P. 65–77.
3. *Sokolov I.M., Fofanov Ya.A.* Investigations of the Small Birefringence of Transparent Objects by Strong Phase Modulation of Probing Laser Radiation // *JOSA A*. 1995. V. 12, N 7. P. 1579–1588.
4. *Sung Jong Park S.J., Chang Yong Park C.J., Yoon N.H.* Optical Polarization Modulation by Competing Atomic Coherence Effects in a Degenerate Four-Level Yb Atomic System // *Phys. Rev. A*. 2005. V. 71, N 6. 063819.
5. *Проценко Е.Д., Тымпер С.И., Шкирин А.В.* Автоматизированный лазерный ИК-спектрополяриметр для измерения матрицы Мюллера поверхностей // *Приборы и техника эксперимента*. 2008. № 2. С. 118–125.
6. *Бережинский Л.И., Литвин О.С., Максименко Л.С. и др.* Размерные эффекты внутреннего отражения кластерных пленок золота в модуляционно-поляризационном представлении // *Оптика и спектр*. 2009. Т. 107, № 2. С. 281–286.
7. *Фофанов Я.А., Афанасьев И.И., Бороздин С.Н.* Структурное дупреломление в кристаллах оптического флюорита // *Оптический журнал*. 1998. Т. 9. С. 22–25.
8. *Фофанов Я.А.* Методы и приборы для количественного анализа структурного дупреломления материалов и веществ // *Научное приборостроение*. 1999. Т. 9, № 3. С. 104–110.
9. *Фофанов Я.А., Бардин Б.В., Крылов П.С. и др.* Отчет о НИР "Разработка методов и принципов построения аппаратных средств для количественного поляризационно-оптического анализа структурных особенностей материалов и веществ". ИАП РАН, Санкт-Петербург, 2004 г. Номер госрегистрации 01.20.0003913.
10. *Соколов И.В., Фофанов Я.А.* О возможности поляризационных измерений без фотонного (дробового) шума во времени и в пространстве с использованием сжатых состояний света // *Оптика и спектр*. 1993. Т. 74, № 4. С. 764–773.
11. *Фофанов Я.А., Крылов П.С., Куприянов Д.В. и др.* Отчет о НИР ИАП РАН "Развитие поляризационно-оптических методов высокочувствительного лазерного мониторинга нестационарных объектов и сред". 2004–2006 гг. Номер госрегистрации 01.2.00409756.
12. *Фофанов Я.А., Крылов П.С., Куприянов Д.В. и др.* Отчет о НИР ИАП РАН "Исследование возможностей применения высокочувствительных методов поляризационно-оптического мониторинга для анализа биологических жидкостей и тканей". 2004–2006 гг. Номер госрегистрации 0120.0 406618.
13. *Фофанов Я.А., Бардин Б.В.* О принципах и подходах к автоматизации высокочувствительных лазерных методов количественного поляризационно-оптического анализа // *Научное приборостроение*. 2002. Т. 12, № 3. С. 64–67.
14. *Fofanov Ya.A.* Threshold Sensitivity in Optical Measurements with Phase Modulation // *The Report of tenth Union Symposium and Seminar on High-Resolution Molecular Spectroscopy / L.N. Siniza Editor. Prog. SPIE*. 1991. V. 1811. P. 413–414.
15. *Запасский В.С.* Методы высокочувствительных поляриметрических измерений // *ЖПС*. 1982. Т. 37, № 2. С. 181.
16. *Александров Е.Б., Запасский В.С.* Лазерная магнитная спектроскопия. М.: Наука, 1986. 280 с.
17. *Соколов И.М., Фофанов Я.А.* Подавление избыточных шумов модулированного по поляризации пробного излучения в измерениях малого оптического двулучепреломления // *Оптика и спектроскопия*. 1999. Т. 86, № 5. С. 833–841.
18. *Соколов И.М., Фофанов Я.А.* Дифференциальная регистрация поляризационно-модулированных оптических сигналов // *Научное приборостроение*. 2008. Т. 18, № 1. С. 16–22.
19. *Соколов И.М., Фофанов Я.А.* Флуктуации сигнала оптического двулучепреломления в измерениях с глубокой модуляцией поляризации // *Научное приборостроение*. 2008. Т. 18, № 1. С. 23–24.
20. *Фофанов Я.А., Соколов И.В.* Субпуассоновская одномодовая генерация в полупроводниковом лазере с внешним резонатором // *Оптический журнал*. 2003. Т. 70, № 1. С. 46–50.
21. *Фофанов Я.А.* Преобразование флуктуаций интенсивности при нелинейном отражении света // *Оптика и спектр*. 2003. Т. 94, № 5, С. 861–863.
22. *Фофанов Я.А.* Управление интенсивностью и флуктуациями света при его селективном отражении // *Оптика и спектр*. 2005. Т. 99, № 3. С. 475–476.
23. *Wood R.* // *Philos W. Mag.* 1909. N 18. P. 187.
24. *Cojan J.L.* Contribution a l'etude de la reflection selective sur les vapeurs de mercure de la radiation de resonance du mercure // *Ann. Phys. Paris*, 1954. V. 9. P. 385–440.
25. *Schurmans M.F.H.* Spectral Narrowing of Selective Reflection // *J. Phys. Paris*, 1976. V. 37. P. 469–485.
26. *Саутенков В.А., Величанский В.Л., Зибров А.С. и др.* Внутридоплеровские резонансы D₂-линии цезия в контуре селективного зеркального отражения // *Квантовая электроника*. 1981. Т. 8, № 9. С. 1867–1872.
27. *Nienhuis G., Schuller F., Ducloy M., et al.* Nonlinear Selective Reflection from an Atomic Vapor at Arbitrary Incidence Angle // *Phys. Rev. A*. 1998. V. 38, N 15. P. 5197–5205.
28. *Акулишин А.М., Величанский В.Л., Зибров А.С. и др.* Столкновительное уширение внутридоплеровских резонансов селективного отражения на D₂-линии цезия // *Письма в ЖЭТФ*. 1982. Т. 36, № 7. С. 247–250.
29. *Вартанян Т.А.* Резонансное отражение интенсивного оптического излучения от границы разреженной газовой среды // *ЖЭТФ*. 1985. Т. 88, № 4. С. 1147–1152.

30. Акульшин А.М., Величанский В.Л., Жердев А.И. и др. Селективное отражение от границы стекло-газ при больших углах падения света // Квантовая электроника. 1989. Т. 16, № 3. С. 631–637.
31. Величанский В.Л., Зибров А.С., Никитин В.В. и др. Полупроводниковый лазер с внешним селективным зеркалом на парах ^{133}Cs // Квантовая электроника. 1978. Т. 5, № 7. С. 1465–1470.
32. Акульшин А.М., Величанский В.Л., Зверков М.В. и др. // Кр. сообщ. по физ. ФИАН. 1986. № 11. С. 47.
33. Ito T., Hashi T., Yabuzaki T. Frequency Stabilization of an AlGaAs Laser Using Selective Reflection Spectrum // Opt. Comm. 1991. V. 82. P. 473–476.
34. Van Kampen H., Sautenkov V.A., Eliel E.R., Woerdman J.P. Probing the Spatial Dispersion in a Dense Atomic Vapor Near a Dielectric Interface // Phys. Rev. A. 1998. V. 58. P. 4473–4478.
35. Failache H., Saltiel S., Fichet M., Bloch D., Ducloy M. // Eur. Phys. J. D. 2003. V. 23. P. 237.
36. Bloch D., Ducloy M. Atom-Wall Interaction // Advances in At. Mol. and Optical Phys. 2005. V. 50. P. 91–154.
37. Фофанов Я.А. Селективное отражение поляризованного света при наклонном падении // Квантовая электроника. 2009. Т. 39, № 6. С. 585–590.
38. Фофанов Я.А. О нелинейных эффектах в условиях резонансного ПВО // Научное приборостроение. 2008. Т. 18, № 1. С. 35–39.
39. Корпел А., Чаттерджи М. Нелинейное эхо, фазовое сопряжение, обращение времени и электронная голография // ТИИЭР. 1981. Т. 69, № 12. С. 22–43.
40. Петров М.П., Степанов С.И. Обработка информации в радиотехнических системах методом спинового эха. Обзоры по электронной технике, сер. 1 "Электроника СВЧ". М.: ЦНИИ "Электроника", 1976. Вып. 10 (385). 30 с.
41. Поляризационное эхо и его применение / Ред. В.В. Самарцев. М.: Наука, 1992. 192 с.
42. Бержанский В.Н., Полулях С.Н., Куневич А.В. Магнитоакустическое эхо в магнитных микропроводах // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47, № 5. С. 620–624.
43. Нестеров М.М., Плешаков И.В., Фофанов Я.А. Информационно-физические свойства нестационарных откликов в системах обработки импульсных сигналов // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 2. С. 3–21.
44. Тарханов В.И. Геометрическая алгебра, ЯМР и обработка информации. СПб.: Изд. СПбГПУ, 2002. 214 с.
45. Тарханов В.И. Применение импульсных методов магнитного резонанса в устройствах обработки информации. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2002. 32 с.
46. Буньков Ю.М. Параметрическое ядерное спиновое эхо // Письма в ЖЭТФ. 1976. Т. 23, № 5. С. 271–276.
47. Буньков Ю.М., Гладков С.О. Исследование параметрического механизма формирования спинового эха и динамика движения спинов в системах с динамическим сдвигом частоты // ЖЭТФ. 1977. Т. 73, № 6. С. 2181–2201.
48. Нестеров М.М., Плешаков И.В., Фофанов Я.А. Амплитудные и частотные свойства параметрического эхо-сигнала в информационных системах // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 1. С. 64–71.
49. Плешаков И.В., Фофанов Я.А. Об эффекте усиления при возбуждении и регистрации параметрических эхо-сигналов // Научное приборостроение. 2007. Т. 17, № 2. С. 35–38.
50. Плешаков И.В. Развитие методов исследования нестационарных откликов в магнитоупорядоченных материалах и сверхпроводниках. Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2009. 28 с.

**Институт аналитического приборостроения РАН,
Санкт-Петербург** (Фофанов Я.А., Соколов И.М.)

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург** (Плешаков И.В.)

**Государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург** (Соколов И.М.)

Контакты: Яков Андреевич Фофанов,
Yakinvest@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 25.12.2009.

DETECTION OF NON STEADY-STATE RESPONSES IN OPTICAL AND RADIO RANGE

Ya. A. Fofanov¹, I. V. Pleshakov², I. M. Sokolov^{1,3}

¹*Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg*

²*A.F. Ioffe Physical-Technical Institute RAS, Saint-Petersburg*

³*Saint-Petersburg State Polytechnic University, Saint-Petersburg*

The review includes a brief description of investigation of non steady-state phenomena in polarization-sensitive optical devices and radio frequency systems, which have recently been carried out at the Institute for Analytical Instrumentation RAS and A.F. Ioffe Physical Technical Institute RAS.

Special attention was paid to precision and sensitivity of measurements in the optical range. Thus, peculiarities of the method of differential registration of polarization-modulated signals are discussed in details. The described techniques are suggested to be used in reflecting configurations. The dynamic properties of "dielectric—atomic gas" resonance boundary are studied. In the part of work, devoted to the radio frequency range, the results on the investigation of echo-signals in pulse information processors, and the data on the enhancement effect for parametric echo are presented.

The analytic methods, based on the transparent and reflecting optical techniques, and on the radiofrequency pulse probing, giving the data from the total volume, are regarded as complimentary.

Keywords: non steady-state phenomena, high sensitive optical measurements, polarization modulation, selective reflection, semiconductor lasers, parametric echo signals