

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук Ватника Сергея Марковича
на диссертационную работу Снеткова Ильи Львовича
«Особенности тепловых эффектов в новых оптических материалах»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика
(Диссертационный совет 24.1.238.01 в Институте прикладной физики РАН
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46)

Актуальность работы

Лазерные излучатели излучение с высокой выходной мощностью находят широкое применение в различных сферах деятельности, в том числе для решения большого числа научных, производственных и технологических задач. Разработка надежных эффективных источников когерентного излучения с дифракционной расходимостью и высокой средней мощностью является одной из наиболее актуальных задач лазерной физики и лазерных технологий. Как правило, увеличение средней мощности лазеров приводит к паразитным тепловым эффектам в оптических элементах, неоднородному нагреву, возникновению термических напряжений и термонаведенному двулучепреломлению. Возникающие фазовые искажения имеют сильные аберрации и астигматизм, которые в значительной степени ухудшают модовый состав излучения.

Тепловые эффекты могут быть существенно ослаблены путем выбора материала с оптимальными теплофизическими, оптическими и механическими характеристиками, существенно влияющими на величину тепловой линзы и термонаведенной деполяризации. Поиск новых перспективных лазерных и магнитооптических материалов и исследование их свойств позволит выбирать подходящий под конкретную задачу материал и создавать на его основе устройства с рекордными характеристиками, что является актуальной задачей в области разработки лазерных систем с высокой средней мощностью. Предметом исследования диссертационной работы И.Л.

Счеткова являются особенности тепловых эффектов в магнитооптических материалах, которые определяются набором материальных констант, и использование этих особенностей для ослабления и компенсации фазовых искажений лазерных пучков.

Научная новизна результатов работы определяется тем, что в ней:

- Определена связь между термонаведенными поляризационными искажениями в единичном элементе из одного монокристаллического материала и в системе двух элементов из другого монокристаллического материала в случае их кубической симметрии и ориентации кристаллографических осей [001];
- Точно решена задача об оптимальной ориентации монокристаллического элемента из произвольного магнитооптического материала с параметром пьезооптической анизотропии $\xi < 0$, в которой минимизируется значение термонаведенной деполяризации. Проведен анализ влияния величины циркулярного двулучепреломления на положение оптимальной ориентации и на величину термонаведенной деполяризации. Показано, что в материалах с $\xi < 0$ выбором этой ориентации можно существенно уменьшить вносимую оптическим элементом в проходящее излучение термонаведенную деполяризацию, связанную с фотоупругим эффектом;
- Точно решена задача об оптимальной ориентации монокристаллического элемента из произвольного материала в которой минимизируется астигматизм фазовых искажений как при наличии циркулярного двулучепреломления, так и при его отсутствии.;
- Предложен и реализован способ определения параметра ξ и знака термооптической характеристики Q по измерению астигматизма фазовых искажений в монокристаллическом элементе;
- Предложены схемы изолятора Фарадея с ослаблением и компенсацией термонаведенного двулучепреломления при использовании магнитооптических элементов из монокристаллического материала с $\xi < 0$, вырезанных в критической ориентации [C];

- Предложена и реализована схема ИФ с компенсацией термонаведенного двулучепреломления методом противовращения. В частности, изолятор Фарадея на основе кристалла TSAG обеспечивал степень изоляции 35.7 дБ при средней мощности лазерного излучения 1440 Вт;
- Предложена схема изолятора Фарадея с компенсацией термонаведенной деполяризации, вызванной неоднородным по сечению фарадеевским вращением поляризации излучения из-за температурной зависимости постоянной Верде;
- Предложен критерий выбора конкретной оптической схемы компенсации термонаведенных поляризационных искажений в изоляторе Фарадея, для достижения большей степени изоляции при высокой средней мощности лазерного излучения;
- Предложена схема полной компенсации термонаведенной деполяризации в системе двух оптических элементов, изготовленных из разных материалов;
- Исследованы магнитооптические и термооптические свойства ряда новых перспективных стеклянных, монокристаллических и керамических материалов. Исследованы свойства первых образцов полуторнооскидной керамики ряда редкоземельных элементов (Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Yb_2O_3) и керамики TAG;
- Продемонстрировано преимущество магнитооптических материалов с нулевым или близким к нулю коэффициентом теплового расширения для изготовления МОЭ изоляторов Фарадея, работающих в излучении лазеров с высокой средней мощностью.

Теоретическая и практическая значимость диссертации определяется необходимостью создания эффективных схем компенсации термооптических фазовых искажений и деполяризации высокоинтенсивных световых пучков, распространяющихся по оптическим элементам твердотельных лазерных излучателей. Особое внимание уделено магнитооптическим материалам и конструкциям изоляторов Фарадея для мощных лазеров киловаттного класса. Теоретическая значимость работы

заключается в создании работоспособных моделей фазовых искажений и деполяризации в неоднородных тепловых полях кристаллических магнитооптических элементов, что является фундаментальной основой для оптимизации изоляторов Фарадея мощных лазерных излучателей.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы, включающего работы автора, и списка физических величин и сокращений. Общий объем диссертации составляет 276 страниц, включая 77 рисунков и 9 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 456 источников.

Во введении приведен краткий обзор научных исследований по тематике диссертации, описаны полученные на настоящий момент результаты, обоснована актуальность темы диссертации. Автором сформулированы цели и задачи диссертационной работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, а также новизна, научная и практическая значимость проведенных исследований. Приведены сведения о структуре диссертации, о публикациях и апробации работы на семинарах и конференциях, о личном вкладе автора и достоверности полученных результатов.

В первой главе проведен расчет тепловых эффектов в системе оптических элементов. Получены аналитические формулы для описания термонаведенной деполяризации и тепловой линзы в оптических элементах из монокристаллического материала с кубической симметрией 432 , $43m$ и $m3m$ и произвольным направлением кристаллографических осей в приближении аксиальной симметрии как геометрии оптического элемента, так и источников тепловыделения и проходящего излучения в стационарном случае. Рассмотрены частные случаи ориентаций кристаллографических осей монокристаллического оптического элемента, а также изотропного оптического элемента, изготовленного из стекла или из керамики.

Вторая глава посвящена особенностям термонаведенных эффектов в одиночном оптическом элементе, связанных с параметрами используемого материала, и использованию этих особенностей для ослабления возникающих тепловых эффектов. В частности, проведен анализ зависимости

термонаведенной деполяризации от ориентации кристаллографических осей в материалах с отрицательным параметром пьезооптической анизотропии. Аналитически точно решена задача об поиске оптимальной ориентации, минимизирующей поляризационные искажения и астигматизм фазовых искажений в кристаллическом оптическом элементе с циркулярным двулучепреломлением. Показано, что в материалах с параметром пьезооптической анизотропии $\xi < 0$ при наличии циркулярного двулучепреломления выбором критической ориентации кристаллографических осей можно сделать величину наклона собственных поляризаций Ψ не зависящей от поперечных координат и равной любой наперед заданной константе, и, как следствие, существенно ослабить вклад в термонаведенную деполяризацию от фотоупругого эффекта.

В этой же главе рассмотрены особенности термонаведенной деполяризации в материалах с большой абсолютной величиной параметра пьезооптической анизотропии ξ , особенности материалов с малым значением термооптической характеристики Q , а также особенности использования материалов с нулевым или близким к нулю коэффициентом линейного расширения в качестве магнитооптических. На примере монокристалла TSAG с параметром $\xi = -101$, показано хорошее согласие полученных выражений и экспериментально измеренных зависимостей термонаведенной деполяризации от мощности лазерного излучения, проведен анализ данных по магнитооптической керамике $Tb_2Ti_2O_7$ и кристаллу $Zn_4B_6O_{13}$.

В третьей главе предложен ряд схем изоляторов Фарадея с компенсацией тепловых эффектов, в том числе с компенсацией деполяризации, вызванной неоднородным фарадеевским вращением из-за градиента температуры и температурной зависимости постоянной Верде. Подробно обсуждены особенности этих схем при использовании магнитооптических материалов с идентичными и отличающимися параметрами. Показано, что одновременная компенсация деполяризации от неоднородного фарадеевского вращения и от линейного двулучепреломления в общем случае невозможна и необходимо выбирать оптическую схему изолятора Фарадея с компенсацией либо одного, либо другого вклада. В разделе 3.4 введен коэффициент для определения какая из оптических схем

ИФ с компенсацией термонаведенной деполяризации предпочтительнее для конкретного магнитооптического материала для достижения большей степени изоляции при высокой средней мощности лазерного излучения и насколько эффективным будет использование критической ориентации в материалах с $\xi < 0$. В этой же главе предложен и верифицирован метод компенсации термонаведенной деполяризации в отсутствие циркулярного двулучепреломления при использовании двух оптических элементов из отличающихся материалов. Показано, что при использовании двух оптических элементов, изготовленных из стекла, керамики или монокристалла в ориентации [111], подбором длины элементов термонаведенную деполяризацию можно скомпенсировать полностью.

Четвертая глава посвящена исследованию свойств материалов для применения их в устройствах, работающих на основе эффекта Фарадея. В ней проведен анализ критериев выбора магнитооптического материала для изоляторов Фарадея в зависимости от параметров лазерного излучения, описаны преимущества и недостатки разных видов магнитооптических материалов. Особое внимание уделено основным материальным параметрам для реализации изоляторов Фарадея, обеспечивающих высокую степень изоляции при высокой средней мощности лазерного излучения. Подробно исследованы оптические и магнитооптические свойства керамик полуторных оксидов редкоземельных элементов (Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Yb_2O_3), определены области применимости, преимущества и недостатки исследуемых полуторных оксидов, и их перспективность использования в изоляторах Фарадея для лазерного излучения с высокой средней мощностью.

В этой же главе представлены результаты исследований оптических, магнитооптических и термооптических свойств керамики TAG, высокочистого монокристаллического кремния, теллуридных и халькогенидных стекол разных составов. Реализованы традиционный изолятор Фарадея и изолятор Фарадея с компенсацией деполяризации методом противовращения для лазерного излучения на длине волны 1940 нм, исследованы их степени изоляции в зависимости от мощности лазерного излучения. Сделан вывод о том, что стекло $Ge_{10}Sb_6As_{22}S_{62}$ обладает малым поглощением и достаточно высоким значением постоянной Верде в области 2

мкм, а изолятор Фарадея на его основе работоспособен вплоть до лазерной мощности 300 Вт на длине волны 1940 нм. Произведено численное моделирование зависимости термонаведенной деполяризации от мощности лазерного излучения для новых схем изоляторов Фарадея.

В заключении представлены основные результаты работы.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов работы основана на анализе автором выполненных ранее научно-исследовательских работ по предмету исследования, повторяемостью получаемых экспериментальных данных и сравнением полученных результатов с расчетными соотношениями.

Таким образом, диссертационная работа Снеткова И.Л. представляет законченное целостное исследование, в котором на основании выполненных автором исследований осуществлено решение важной научной проблемы по методам компенсации термооптических эффектов в магнитооптических материалах и разработке на этой основе изоляторов Фарадея для мощных лазерных излучателей киловаттного класса. Данная проблема имеет важное значение для лазерной физики (специальность 1.3.19). Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Снеткова И.Л., являются обоснованными. Достоверность научных положений, выводов и практических результатов, полученных в диссертационной работе, обсуждается автором в тексте диссертации, основана на анализе автором выполненных ранее научно-исследовательских работ по предмету исследования и подтверждается сравнением полученных Снетковым И.Л. в ходе выполнения работы экспериментальных данных и результатов математического моделирования с известными из литературы теоретическими и экспериментальными результатами.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 30 статьях, опубликованных в периодических рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК либо приравненных к ним (базы данных РИНЦ, Scopus, Web of Science). Общее число опубликованных автором работ по теме диссертации – 56, включая тезисы докладов международных и российских

конференций. В публикациях достаточно полно отражены главные результаты диссертации.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

В автореферате подробно обоснованы защищаемые положения, научная новизна и достоверность результатов диссертационной работы. Структура автореферата соответствует структуре диссертации и в тезисной форме излагает ее основное содержание. Оформление диссертации и автореферата проведено в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Замечания по работе

Высокий научный уровень представленной работы не вызывает сомнений. Вместе с тем, по тексту диссертации можно сделать следующие замечания.

1. Название диссертации имеет слишком общий характер, т.к. ее основное содержание относится к магнитооптическим материалам и их практическому использованию в изоляторах Фарадея. В качестве примера, название «Особенности тепловых эффектов в новых магнитооптических материалах» более точно отражает содержание работы.
2. Обзор литературы недостаточно структурирован. Частично, в тезисной форме, обзор представлен во Введении, и в каждой главе содержатся обширные ссылки на соответствующие публикации. Как следствие, из текста не всегда понятно, о чьих оригинальных результатах идет речь, и необходимо сверяться со списком литературы. На мой взгляд, было бы целесообразно предварить каждую главу обзором соответствующих работ, и дальнейшее содержание глав посвятить оригинальным результатам.
3. В теоретической части расчеты по матрицам Джонса, как и описание самого формализма, представлено слишком подробно. Поскольку основную научную ценность представляют финальные соотношения и приближения, в которых они получены, то промежуточные вычисления можно было пропустить, либо вынести в отдельные приложения.

Заключение.

Указанные замечания не имеют принципиального характера и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа Снеткова Ильи Львовича «Особенности тепловых

эффектов в новых оптических материалах», является завершённым исследованием, полностью соответствующим паспорту научной специальности 1.3.19 – лазерная физика.

В целом, диссертационная работа Снеткова Ильи Львовича является законченной научно-квалифицированной работой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук и отвечает требованиям, установленным Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует всем критериям, установленным в разделе II Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 01 октября 2018 г. № 1168), а ее автор И.Л.Снетков заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации Снеткова Ильи Львовича.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
Специальность 1.3.19 – Лазерная физика,
Начальник лаборатории метрологии
оптических материалов ООО «ВПГ Лазеруан»
141190, Московская обл., г. Фрязино,
пл. ак. Б.А.Введенского, д.3. стр. 5.
Телефон +7 (496) 255-74-46+3380
e-mail: sVatnik@vpglaserone.ru

С. М. Ватник

Сергей
Маркович
Ватник

21.08.2025г.

Подпись С.М.Ватника удостоверяю,
Начальник отдела кадров ООО «ВПГ Лазеруан»



Виноградова Ю.В.

Сведения об оппоненте

Ватник Сергей Маркович,

доктор физико-математических наук

Специальность 1.3.19 – Лазерная физика

Адрес: 141190, Московская обл., г. Фрязино, пл. ак. Б.А.Введенского, д.3. стр. 5.

Телефон +7 (496) 255-74-46+3380

e-mail: sVatnik@vpglaserone.ru

Место работы: ООО «ВПГ Лазеруан»

Должность: Начальник лаборатории метрологии оптических материалов

Приложение.

Публикации по специальности диссертации, опубликованные в последнее время
(библиографическая ссылка с указанием: названия статьи, названия журнала, в котором
была опубликована статья, года публикации, DOI)

- 1 **THERMO-OPTIC EFFECTS IN HO:KY(WO₄)₂ THINDISK LASERS**
Mateos X., Loiko P., Lamrini S., Scholle K., Fuhrberg P., Vatnik S., Vedin I., Aguiló M., Díaz F., Griebner U., Petrov V.
Optical Materials Express. 2018. Т. 8. № 3. С. 684-690.
- 2 **DETERMINATION OF SPECIFIC LOSSES IN HIGHLY TRANSPARENT Nd : YAG CERAMICS BY LASER CALORIMETRY**
Sergei V., Vedin I.A., Kopylov Yu.L., Osipov V.V.
Quantum Electronics. 2019. Т. 49. № 4. С. 362-364.
- 3 **ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ НАКАЧКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СВЕТА НА БАЗЕ НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА ZnGeP₂**
Юдин Н.Н., Демин В.В., Грибенюков А.И., Ватник С.М.
В сборнике: ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И НА ТРАНСПОРТЕ. Труды XXVI Международной Конференции. 2018. С. 56-57.
- 4 **HARMONIC GENERATION IN A NEMATIC LIQUID CRYSTAL**
Trashkeev S.I., Vasenin N.T., Vatnik S.M., Vedin I.A., Klementyev V.M., Ivanenko A.V.
Laser Physics Letters. 2020. Т. 17. № 7. С. 075002.
- 5 **HIGH-EFFICIENCY MINI-SLAB LASER BASED ON Tm-DOPED DOUBLE TUNGSTATE CRYSTAL**
Vatnik S.M., Vedin I.A., Kolker M.D., Pavlyuk A.A.
В книге: Modern problems of laser physics - MPLP-2021. The IX International Symposium technical digest. Novosibirsk, 2021. С. 160-161.
- 6 **HIGH-EFFICIENCY MINI-SLAB LASER BASED ON Tm-DOPED DOUBLE TUNGSTATE CRYSTAL**
Vatnik S.M., Vedin I.A., Kolker M.D., Pavlyuk A.A.
В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 9. Сер. "IX International Symposium "Modern Problems of Laser Physics", MPLP 2021" 2021. С. 012009.

Официальный оппонент



Ватник Сергей Маркович

21.08.2025г.

СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

по диссертационной работе Снеткова Ильи Львовича «Особенности тепловых эффектов в новых оптических материалах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика

№		
1	Фамилия Имя Отчество	Ватник Сергей Маркович
2	Ученая степень, шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	Доктор физико-математических наук, Специальность 1.3.19 – Лазерная физика
3	Ученое звание	нет
4	Академическое звание	нет
Место основной работы:		
5	Полное название организации	Общество с Ограниченной Ответственностью «ВПП Лазеруан»
6	Ведомственная принадлежность	- / -
7	Тип организации	Частное учреждение
8	Занимаемая должность, подразделение	Начальник лаборатории метрологии оптических материалов
9	Почтовый индекс, адрес	Пл. имени Академика Б.А. Введенского 3, стр. 5, Фрязино, городской округ Фрязино, Московская обл., 141190, Российская Федерация
10	Телефон	+7 (496) 255-74-46 доб. 3380
11	Адрес электронной почты	sVatnik@vpglaserone.ru

Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

1 **THERMO-OPTIC EFFECTS IN HO:KY(WO₄)₂ THINDISK LASERS**
Mateos X., Loiko P., Lamrini S., Scholle K., Fuhrberg P., Vatik S., Vedin I.,
Aguiló M., Díaz F., Griebner U., Petrov V.
Optical Materials Express. 2018. Т. 8. № 3. С. 684-690.

2 **DETERMINATION OF SPECIFIC LOSSES IN HIGHLY
TRANSPARENT Nd : YAG CERAMICS BY LASER CALORIMETRY**
Sergei V., Vedin I.A., Kopylov Yu.L., Osipov V.V.
Quantum Electronics. 2019. Т. 49. № 4. С. 362-364.

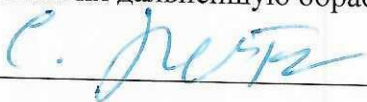
3 **ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ НАКАЧКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
ГЕНЕРАТОРА СВЕТА НА БАЗЕ НЕЛИНЕЙНОГО КРИСТАЛЛА
ZnGeP₂**

Юдин Н.Н., Демин В.В., Грибенюков А.И., Ватник С.М.

В сборнике: ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И НА ТРАНСПОРТЕ. Труды
XXVI Международной Конференции. 2018. С. 56-57.

- 4 **HARMONIC GENERATION IN A NEMATIC LIQUID CRYSTAL**
Trashkeev S.I., Vasinin N.T., Vatnik S.M., Vedin I.A., Klementyev V.M., Ivanenko A.V.
Laser Physics Letters, 2020. T. 17. № 7. С. 075002.
- 5 **HIGH-EFFICIENCY MINI-SLAB LASER BASED ON Tm-DOPED DOUBLE TUNGSTATE CRYSTAL**
Vatnik S.M., Vedin I.A., Kolker M.D., Pavlyuk A.A.
В книге: Modern problems of laser physics - MPLP-2021. The IX International Symposium technical digest. Novosibirsk, 2021. С. 160-161.
- 6 **HIGH-EFFICIENCY MINI-SLAB LASER BASED ON Tm-DOPED DOUBLE TUNGSTATE CRYSTAL**
Vatnik S.M., Vedin I.A., Kolker M.D., Pavlyuk A.A.
В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 9. Сер. "IX International Symposium "Modern Problems of Laser Physics", MPLP 2021" 2021. С. 012009.

Я, Ватник Сергей Маркович, согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

 / Ватник С.М./

Подпись Ватника С.М. удостоверяю.

Начальник отдела кадров ООО «ВПГ Лазеруан»  /Виноградова Ю.В./

«21» августа 2025 г.

