

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки
Института лазерной физики Сибирского
отделения
Российской академии наук
(ИЛФ СО РАН)
д.ф.-м.н. О.Н. Прудников



« 26 » августа 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук
на диссертацию **Снеткова Ильи Львовича «Особенности тепловых эффектов в новых оптических материалах»**, представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 — лазерная физика.

Диссертационная работа Снеткова Ильи Львовича посвящена поиску и исследованию новых оптических материалов, используемых для минимизации и компенсации тепловых эффектов в лазерных системах, а также созданию уникальных лазерных узлов и компонентов с рекордными характеристиками, позволяющих увеличить стабильность и качество излучения мощных лазерных систем.

Актуальность темы

Создание надежных эффективных источников с высоким качеством лазерного излучения и высокой средней мощностью в практически важных спектральных диапазонах является актуальной задачей в связи с их востребованностью в различных областях научных, научно-технических и специальных приложений.

Одним из фундаментальных ограничивающих факторов увеличения средней мощности лазеров является возникновение паразитных тепловых эффектов в оптических элементах. Тепловыделение приводит к возникновению градиента температуры и увеличению её среднего значения, возникновению термических напряжений и термонаведенному двулучепреломлению. В излучении, проходящем такой

термонагруженный оптический элемент, возникают фазовые (тепловая линза) и поляризационные (термонаведенная деполяризация) искажения. Это приводит к дополнительным дифракционным потерям, ухудшению качества, изменению поперечного модового состава и потере мощности поляризованного излучения.

Поиск и исследование свойств новых перспективных магнитооптических материалов, создание на их основе менее подверженных тепловым эффектам устройств с рекордными характеристиками, является актуальной задачей в области построения лазерных систем с высокой средней мощностью.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы, включающего и работы автора, и подробного списка сокращений и обозначений, используемых в настоящей работе. Общий объем диссертации составляет 276 страниц, включая 77 рисунков и 9 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 456 источников.

Во введении обоснована актуальность темы, определен предмет исследования и его современное состояние, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, дана оценка научной новизны и практической значимости работы, приведены защищаемые положения. Описаны структура, объем и краткое содержание диссертационной работы, приведены сведения о достоверности полученных результатов. Дана информация об апробации работы и публикациях по теме диссертации, определен личный вклад автора и автором выражены благодарности.

Первая глава посвящена теоретическому описанию самонаведенных тепловых эффектов в системе оптических элементов. Получены аналитические формулы для описания термонаведенной деполяризации и тепловой линзы в оптическом элементе из монокристаллического материала с кубической симметрией и произвольным направлением кристаллографических осей в приближении аксиальной симметрии геометрии оптического элемента и источников тепловыделения и проходящего излучения в стационарном случае.

Рассмотрены несколько случаев комбинаций оптических элементов. В случае одиночного оптического элемента с использованием формализма матриц Джонса получены приближенные аналитические выражения для термонаведенной деполяризации и для тепловой линзы линейно поляризованного излучения. Термонаведенные фазовые искажения представлены в виде суммы двух слагаемых – без астигматизма (часть, не

зависящая от полярного угла) и с астигматизмом. Описан метод определения параметра пьезооптической анизотропии в кубическом монокристалле в ориентации [001] по измерениям термонаведенной деполяризации, используемый в дальнейшем для исследования новых кристаллических материалов.

Рассмотрен случай двух оптических элементов из разных материалов с произвольным циркулярным двулучепреломлением, разделенных взаимным поляризационным вращателем. В случае отсутствия циркулярного двулучепреломления показано, что термонаведенная деполяризация в одиночном кристаллическом элементе из одного материала может быть полностью идентична термонаведенной деполяризации в композитном оптическом элементе, состоящем из двух кристаллических элементов из другого материала, разделенных кварцевым вращателем поляризации. Проведена верификация на примере композитного элемента из двух монокристаллов TGG и 90-градусного кварцевого вращателя поляризации.

Далее, на основе предложенного подхода, рассмотрен случай вычисления аналитических выражений для термонаведенных поляризационных искажений, вносимых несколькими оптическими элементами, разделенными кварцевыми вращателями поляризации.

Во второй главе представлены результаты рассмотрения особенностей термонаведенных эффектов в одиночном оптическом элементе, связанных с параметрами используемого материала, и использования этих особенностей для ослабления возникающих тепловых эффектов.

Проведен анализ зависимости термонаведенной деполяризации от ориентации кристаллографических осей в материалах с отрицательным параметром пьезооптической анизотропии. Аналитически решена задача о поиске оптимальной ориентации, при которой поляризационные искажения минимальны. Найдены направления кристаллографических осей [P], при которых астигматизм термонаведенных фазовых искажений отсутствует. Показано, что ориентации, при которых ослабляются поляризационные искажения, и ориентации, при которой отсутствует астигматизм фазовых искажений, отличаются значениями угла Эйлера. Предложен метод измерения параметра пьезооптической анизотропии ζ и знака термооптической характеристики Q кристаллического материала по измерению астигматизма термонаведенных фазовых искажений в монокристалле с ориентацией [001].

Рассмотрены особенности термонаведенной деполяризации в материалах с большой абсолютной величиной параметра пьезооптической анизотропии ζ . Получены

аналитические выражения для термонаведенной деполяризации при внесении материала в магнитное поле и возникновении в нем циркулярного двулучепреломления. Предложен способ оценки уровня термонаведенной деполяризации в материалах с большой абсолютной величиной параметра пьзооптической анизотропии.

Рассмотрены особенности материалов с малым значением термооптической характеристики Q или Q_{eff} (в случае керамического материала) на примере прозрачной керамики $Tb_2Ti_2O_7$. Исследованы магнитооптические и термооптические свойства керамики $Tb_2Ti_2O_7$. Отмечается, что магнитооптические материалы с малой величиной Q перспективны для изоляторов Фарадея, работающих в лазерном излучении с высокой средней мощностью, а поиск таких материалов очень актуален.

Рассмотрены особенности использования материалов с нулевым или близким к нулю коэффициентом линейного расширения в качестве магнитооптических сред для изоляторов Фарадея, работающих в излучении с высокой средней мощностью. Исследованы магнитооптические и термооптические свойства оптически прозрачного материала - кристалла $Zn_4B_6O_{13}$ с близким к нулю коэффициентом линейного расширения. Диамагнитная природа материала обеспечивает отсутствие термонаведенной деполяризации, связанной с температурной зависимостью константы Верде. Результаты показывают, что кристалл $Zn_4B_6O_{13}$ прозрачен и обладает высоким значением постоянной Верде в диапазоне длин волн 248–350 нм и может использоваться в качестве магнитооптического материала для оптического изолятора для лазеров высокой средней мощности в данном спектральном диапазоне.

Глава 3 посвящена рассмотрению особенностей компенсации самонаведенных тепловых эффектов, предложено несколько оригинальных схем изоляторов Фарадея, получены аналитические формулы для термонаведенной деполяризации в случае использования данных схем, проведен анализ и верификация эффективности компенсации деполяризации

Во-первых, проанализирована схема с компенсацией термонаведенной деполяризации, методом противовращения. Показано, что в изоляторе Фарадея с магнитооптическим элементом из кубического монокристалла с параметром пьзооптической анизотропии $\xi \leq 0.04$ (или $\xi \geq 25.27$) и вырезанном в ориентации $[001]$ можно увеличить величину максимально допустимой мощности использования изолятора разделением элемента на две части и вращением в противоположные стороны на угол, величина которого определяется параметром пьзооптической анизотропии материала ξ .

Во-вторых, представлена схема с компенсацией термонаведенной деполяризации, вызванной термонаведенным линейным двулучепреломлением, при использовании монокристаллических магнитооптических элементов в ориентации [С]. Показано, что для двух монокристаллических магнитооптических элементов с ориентацией [С], изготовленных из разных материалов, может быть скомпенсирована только часть деполяризации, квадратично зависящая от мощности лазерного излучения, при этом наличие кварцевого вращателя не влияет на уровень деполяризации. Компенсация членов более высокого порядка в разложении термонаведенной деполяризации по малому параметру p возможна только в случае магнитооптических элементов, изготовленных из одного материала.

В третьих, рассмотрена схема с компенсацией деполяризации, вызванной неоднородным фарадеевским вращением из-за градиента температуры и температурной зависимости постоянной Верде. Отмечается, что для ее реализации необходимо, чтобы направление вращения поляризации в двух магнитооптических элементах было противоположно, и они были выполнены из материалов с отличающимися параметрами. Показано, что одновременная компенсация деполяризации от неоднородного фарадеевского вращения и от линейного двулучепреломления в общем случае невозможна и необходимо выбирать оптическую схему с компенсацией либо одного, либо другого вклада.

Введен коэффициент, определяющий тип подходящей для конкретного магнитооптического материала оптической схемы с компенсацией термонаведенной деполяризации для достижения большей степени изоляции при высокой средней мощности лазерного излучения и показывающий, насколько эффективным будет использование критической ориентации в материалах с $\zeta < 0$. Равенство коэффициента единице соответствует равенству вкладов от термонаведенного линейного двулучепреломления и от неоднородного фарадеевского вращения из-за зависимости постоянной Верде от температуры. Данный коэффициент рассчитан для ряда магнитооптических материалов.

Предложен и верифицирован метод компенсации термонаведенной деполяризации в отсутствии циркулярного двулучепреломления при использовании двух оптических элементов из различных материалов. Показано, что при использовании двух оптических элементов, изготовленных из стекла, керамики или монокристалла в ориентации [111] термонаведенную деполяризацию можно полностью скомпенсировать подбором длины

элементов. Предложен метод определения знака термооптической характеристики Q материала по наличию или отсутствию компенсации термонаведенной деполяризации.

Глава 4 посвящена исследованию свойств материалов для применения их в устройствах, работающих на основе эффекта Фарадея, для мощного лазерного излучения. Проведен анализ критериев выбора магнитооптического материала для изоляторов Фарадея в зависимости от параметров лазерного излучения. Определены основные материальные параметры, важные для реализации данных устройств, обеспечивающих высокую степень изоляции при высокой средней мощности лазерного излучения. Описаны преимущества и недостатки разных видов магнитооптических материалов. Исследованы оптические, магнитооптические и термооптические свойства широкого спектра материалов – керамик, монокристаллов и стекол.

Для 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 сред и проанализирована перспективность их использования в качестве материалов для изоляторов Фарадея, работающих в лазерном излучении с высокой средней мощностью в различных спектральных диапазонах.

Результаты исследования оптических, магнитооптических и термооптических свойств керамики TAG продемонстрировали перспективность данного материала для создания мощных изоляторов Фарадея. Показано влияние условий спекания и контроля стехиометрии спекаемых керамик на их оптические и термооптические свойства.

Исследованы магнитооптические и термооптические свойства высокочистого монокристаллического кремния, измерено отрицательное значение параметра пьзооптической анизотропии и независимость постоянной Верде от температуры. Отмечено, что отрицательность параметра ξ , позволяет реализовать новые, предложенные в диссертационной работе, схемы изоляторов Фарадея. Произведено численное моделирование зависимости термонаведенной деполяризации от мощности лазерного излучения для новых схем. Показано, что перспективно использование высокочистого монокристаллического кремния в качестве магнитооптического материала для изоляторов Фарадея, в том числе криогенно-охлаждаемых, и работающих в условиях мощного лазерного излучения в спектральном диапазоне вблизи 2 мкм.

Исследованы магнитооптические свойства высокочистых теллуридных и халькогенидных стекол разных составов с целью применения в спектральной области вблизи 2 мкм.

Рассмотрена возможность увеличения значения постоянной Верде парамагнитного материала путем легирования редкоземельными элементами. Для подтверждения исследованы магнитооптические и термооптические свойства керамических материалов TAG, Tb₂O₃ и TGG, легированные ионами редкоземельных элементов. Показано, что легирование может существенно снизить коэффициент теплопроводности, увеличить коэффициент поглощения и при исследованных концентрациях практически не влияет на величину постоянной Верде. Наличие исследованных примесей в керамических материалах увеличивает термонаведенную деполяризацию, что снижает характеристики фарадеевских устройств на базе этих материалов при их работе в мощном лазерном излучении.

Стоит отметить, что каждая глава заканчивается собственным заключением, что дополнительно структурирует работу и положительно сказывается на восприятии материала.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Научная новизна результатов работы

Можно отметить несколько наиболее интересных результатов.

Предложены новые схемы изоляторов Фарадея с компенсацией термонаведенной деполяризации, вызванной фотоупругим эффектом, работающие при использовании магнитооптических материалов с отрицательным параметром пьзооптической анизотропии: схема с взаимным вращателем с кристаллом в ориентации [C] и схема с противовращением. Предложенные схемы превосходят по эффективности известные способы компенсации возникающих поляризационных искажений и позволяют создавать изоляторы Фарадея с рекордными характеристиками степени изоляции при высокой средней мощности киловаттного уровня.

Предложен критерий выбора и оригинальная схема изоляторов Фарадея с компенсацией термонаведенной деполяризации, вызванной неоднородностью вращения плоскости поляризации из-за зависимости постоянной Верде и коэффициента линейного расширения от температуры. Данная схема позволяет увеличить степень изоляции в случаях, когда вклад от фотоупругого эффекта существенно ослаблен выбором ориентации магнитооптического элемента, условиями использования (температура, сильное магнитное поле и др.) или особенностями материала.

Предложена и реализована схема с полной компенсацией термонаведенной деполяризации в системе из двух оптических элементов из разных материалов с отличающимися знаками термооптической характеристики Q (или Q_{eff}).

Предложены и верифицированы новые экспериментальные методы исследования: метод определения знака термооптической характеристики Q (или Q_{eff}) по наличию компенсации термонаведенной деполяризации в системе двух оптических элементов; метод определения величины и знака параметра пьзооптической анизотропии ζ , знака термооптической характеристики Q (или Q_{eff}) по измерениям астигматизма термонаведенных фазовых искажений.

Показана перспективность магнитооптических материалов с близким к нулю коэффициентом линейного расширения для применения в изоляторах Фарадея, работающих в излучении с высокой средней мощностью. Произведены первые исследования магнитооптических и термооптических свойств прозрачного кристалла $Zn_4B_6O_{13}$ с близким к нулю коэффициентом теплового расширения.

Проведены новаторские работы по исследованию оптических и магнитооптических свойств прозрачных керамик полуторных оксидов редкоземельных элементов Tb, Dy, Ho, Er и Yb, прозрачных в спектральных диапазонах от видимого до ближнего ИК и обладающих высоким (в некоторых случаях рекордно) значением постоянной Верде.

Исследованы магнитооптические и термооптические свойства монокристаллического кремния. Впервые измерен параметр пьзооптической анизотропии ζ на длине волны 1.94 мкм и показано, что монокристаллический кремний может обладать отрицательным параметром пьзооптической анизотропии. Измерены зависимости постоянной Верде V от длины волны и температуры и установлено, что с экспериментальной точностью V не зависит от температуры, следовательно этот эффект не дает вклад в термонаведенную деполяризацию. Созданы изоляторы Фарадея (традиционный и с компенсацией деполяризации противовращением) для диапазона излучения вблизи 2 мкм и исследованы их характеристики в зависимости от мощности лазерного излучения.

Научная и практическая значимость работы

Научная значимость работы обусловлена необходимостью комплексного исследования термонаведенных эффектов в оптических элементах лазерных систем для ослабления и компенсации искажений излучения и преодоления фундаментальных ограничений роста средней мощности. К практической значимости работы можно отнести

определение критериев поиска и выбора новых материалов, исследование их свойств для изготовления оптических элементов и дальнейшего их применения в лазерных системах с высокой средней мощностью.

В частности, на основе результатов исследования термонаведенных поляризационных искажений показано, что из кубического монокристалла с ориентацией [001] можно изготовить композитный элемент «оптический элемент-кварцевый вращатель-оптический элемент», который будет вносить в проходящее излучение искажения, идентичные искажениям, вносимым одиночным элементом из любого другого кубического монокристалла в ориентации [001]. Эти результаты могут быть использованы для создания поглощающих оптических элементов для компенсации термонаведенной деполяризации в оптических элементах мощных лазеров.

Решена задача об оптимальной ориентации монокристаллического элемента из произвольного магнитооптического материала с отрицательным параметром пьзооптической анизотропии, в которой минимизируется значение термонаведенной деполяризации. В результате показано, что можно значительно уменьшить вносимые оптическим элементом в проходящее излучение термонаведенные поляризационные искажения, связанные с фотоупругим эффектом. При использовании магнитоактивных материалов с отрицательным параметром пьзооптической анизотропии ζ выбором ориентации кристаллографических осей можно значительно уменьшить вклад в термонаведенную деполяризацию от линейного двулучепреломления, кардинально не увеличивая потери на прямом проходе. Этот подход позволяет существенно улучшить характеристики традиционных фарадеевских устройств в лазерном излучении высокой мощности.

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. Результаты анализа аналитических выражений для тепловых фазовых искажений излучения показывают, что существуют оптимальные ориентации кристаллографических осей, при которых астигматизм тепловой линзы минимален. Выбор оптимальной ориентации кристаллических оптических элементов лазерных систем позволит уменьшить фазовые aberrации, повысить качество генерируемого лазерного излучения, повысить эффективность и максимальную мощность при генерации одномодового излучения.

Предложены схемы и методы создания изолятора Фарадея с ослаблением и компенсацией термонаведенного двулучепреломления различными способами.

Использование предложенных схем позволяет дополнительно уменьшить термонаведенную деполяризацию и создавать изоляторы Фарадея для излучения с мульткиловаттной мощностью. Например, схема с противовращением на основе кристалла TSAG позволяет снизить уровень термонаведенной деполяризации примерно в 10 раз, по сравнению с традиционной схемой. Созданный на основе кристалла TSAG изолятор Фарадея обеспечивает степень изоляции 35.7 дБ при средней мощности лазерного излучения 1440 Вт.

Исследование магнитооптических и термооптических свойств, определение области применения и анализ перспективности ряда новых стеклянных, монокристаллических и керамических материалов привело к созданию на их основе изоляторов Фарадея, работающих в действующих лазерных системах. Интересным может стать предложение создания на основе высокочистого монокристаллического кремния изоляторов Фарадея для мощного лазерного излучения ближнего ИК диапазона и применения в следующем поколении детекторов гравитационных волн. Результаты исследований носят фундаментальный характер и вносят существенный вклад в понимание актуальности использования конкретного материала для конкретной задачи.

Результаты исследований диссертации могут быть использованы при развитии отечественных технологий производства различных лазерных материалов. Результаты работы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях: МГУ, ИОФ РАН, ИЛФ СО РАН, НИЯУ МИФИ, РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ.

Личный вклад автора

Автор внес решающий вклад в определение и постановку всех задач диссертационной работы, выбор методов исследования и способов измерения, проведение экспериментальных и численных исследований, анализ и интерпретацию полученных результатов. Положительным фактом является то, что часть работ, результаты которых вошли в диссертацию, выполнены и опубликованы И.Л. Снетковым без соавторов. В работах, выполненных в соавторстве, все аналитические и численные расчеты выполнены соискателем лично, основные экспериментальные результаты по измерению термооптических и магнитооптических свойств новых материалов получены либо автором лично, либо при его непосредственном участии или под его руководством.

Все выносимые на защиту положения и результаты получены или автором лично, или под научным руководством автора, или при его непосредственном участии.

У диссертации есть недостатки, которые необходимо отметить.

1. Приводимые в диссертации исследования в плане анализа и систематизации эффектов теплового воздействия излучения на кристаллические материалы и затем на поляризационное состояние самого излучения (самовоздействие) основаны на использовании формализма матриц Джонса. В работе не указаны пределы применимости формализма Джонса. Удовлетворяют ли экспериментальные условия пределу корректности матричного подхода?

В тексте диссертации автор использует выражения «Точно решена задача...», которые требуют пояснения относительно точности и приближений, использованных для решения указанных задач.

2. В разделе 2.1.1. (стр.86) автор производит расчёт деполяризации для материалов TSAG, NTF и KTF, при этом, как указано в тексте: «Знак термооптической постоянной Q для материалов фторид натрия тербия (NTF) и фторид калия тербия (KTF) неизвестен и считалось, что $Q < 0$, как и в материалах TGG и TSAG». На основании чего делается это предположение, если одни материалы относятся к фторидам, а другие - к сложным оксидам класса гранатов?

3. Некоторые основные положения, выносимые на защиту, на наш взгляд, сформулированы недостаточно чётко.

Защищаемое положение № 1 записано так: «В кубических кристаллах с отрицательным параметром пьезооптической анизотропии $\xi < 0$ при наличии циркулярного двулучепреломления наилучшая ориентация, в которой наблюдается минимум термонаведенной деполяризации, зависит от величины ξ ». Возможно стоило бы указать «наилучшая ориентация» чего именно, как это и сделано, например, в защищаемых положениях №5 и №6.

Защищаемое положение № 7 сформулировано следующим образом: «Малый коэффициент теплового расширения и независимость величины постоянной Верде от температуры кристалла $Zn_4B_6O_{13}$ позволяют существенно ослабить термонаведенные поляризационные искажения излучения и использовать кристалл для создания изоляторов Фарадея УФ диапазона, работающих в излучении с высокой средней мощностью». Формулировка не даёт представления о критерии «существенности» ослабления термонаведенных искажений.

Есть также замечания, касающиеся, в основном, оформления и стиля изложения.

Оформление диссертации могло бы быть выполнено значительно лучше. На многих рисунках подписи под осями, размерности и обозначения даны на английском языке. На графиках не приведены «усы погрешности», например рис.61б, отмечено в тексте: «с экспериментальной точностью».

Текст изобилует длинными сложноподчиненными предложениями, занимающими 7-8 строк, затрудняющими восприятие материала. В работе встречаются опечатки. Автор использует жаргонизмы и просторечные словарные обороты, например: «достигает десятков кВт», «влияние вкладов в деполяризацию замешивается»; «алгоритм попадания в ориентацию кристаллографических осей»; «оценка на величину $P_{\max}$ составила» вместо «оценка величины»; «Такое нехитрое знание особенностей...» (стр. 22); англицизм «МОЕ» вместо «МОЭ» (стр. 219, 220).

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки выполненного диссертационного исследования и не влияют на высокую научную значимость полученных автором результатов.

Заключение

Основные научные результаты достаточно полно отражены в 30 опубликованных статьях в отечественных и иностранных рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК, в том числе в высокорейтинговых журналах международных баз данных. Результаты докладывались и обсуждались на семинарах ИПФ РАН, представлены в докладах и опубликованы в 26 тезисах в сборниках трудов всероссийских и международных конференций.

Содержание диссертации, научные положения и сформулированные выводы дают основание полагать, что цель исследования достигнута, а сформулированные в диссертации задачи успешно решены. Материал диссертации достаточно полно опубликован. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и отражает защищаемые положения.

Совокупность полученных автором работы результатов может быть квалифицирована как научное достижение высокого уровня.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации

от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями на 16 октября 2024 года), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук.

Автор работы, Снетков Илья Львович, достоин присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 — лазерная физика.

Диссертация Снеткова И.Л. и отзыв на неё обсуждены и одобрены на заседании научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН) 26 августа 2025 года, протокол № 1.

Отзыв составил

Главный научный сотрудник ИЛФ СО РАН,
д.ф.-м.н. Скворцов Михаил Николаевич
E-mail: skv@laser.nsc.ru



Подпись главного научного сотрудника ИЛФ СО РАН

Скворцова Михаила Николаевича

удостоверяю

Ученый секретарь ИЛФ СО РАН
к.ф.-м.н. Покасов Павел Викторович



Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации в соответствии с уставом: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук

Сокращённое наименование: ИЛФ СО РАН

Юридический адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 15Б

телефон: +7 (383) 333-29-67

электронная почта: info@laser.nsc.ru

web-сайт: <http://www.laser.nsc.ru>