

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института общей физики
имени А.М. Прохорова Российской академии
наук (ИОФ РАН)

д.ф.-м.н., профессор Михалевич В.Г.



« 25 » апреля 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Сенатского Юрия Всеволодовича «ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ЛАЗЕРЕ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО НАГРЕВУ ПЛАЗМЫ», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Актуальность. В настоящее время в ряде научных центров США, России, Франции, Китая, Японии созданы мощные лазерные установки на неодимовом стекле для исследований по лазерному термоядерному синтезу (ЛТС), проектируются и создаются новые твердотельные лазерные системы с короткими импульсами (в том числе на лазерной керамике) для экспериментов по ЛТС и исследованию свойств вещества в экстремальных состояниях. Диссертационная работа Ю.В. Сенатского «Физические процессы и методы формирования световых пучков в твердотельном лазере для экспериментов по нагреву плазмы», выполненная в Физическом Институте им. П.Н. Лебедева Российской Академии Наук, связана с разработкой и исследованием мощных твердотельных лазерных систем. В 1960-80-х гг. в ФИАН под руководством академика Н.Г. Басова были созданы лазерные установки на неодимовом стекле с наносекундными и пикосекундными импульсами с энергией от десятков Дж до 2кДж для исследований по ЛТС. Автор диссертации принял активное участие в выполнении этих работ. С его участием разработаны и созданы первые лазеры на неодимовом стекле для нагрева плазмы, проведены исследования по физике мощных твердотельных лазеров, разработаны различные методы формирования лазерных пучков с высокой мощностью и яркостью излучения. В последнее время Ю.В. Сенатский участвовал также и в исследованиях новых лазерных материалов на основе кристаллов и керамики, планируемых для применения в лазерных системах для ЛТС. Актуальность диссертационной работы Сенатского Ю.В. не вызывает сомнений, так как проблемы, решению которых посвящена диссертация, привлекают внимание исследователей и разработчиков мощных лазерных систем с твердотельными активными элементами в настоящее время.

Научная новизна результатов, полученных в диссертации, заключается в том, что они в полной мере используются в настоящее время при разработке и создании мощных лазерных систем для лазерного термоядерного синтеза и изучения свойств вещества в экстремальных условиях.

Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения, списка основных публикаций автора и списка цитируемой литературы из 430 наименований. Объем диссертации: 301стр., включая 118 рисунков, 6 таблиц. Основные результаты автора диссертации опубликованы в 73 работах, из них 61 в рецензируемых отечественных и международных журналах и изданиях, включенных в список ВАК и систему цитирования Web of Science.

Введение содержит краткий обзор работ по лазерам для нагрева плазмы: от первых лазеров на неодимовом стекле с наносекундными импульсами до современных установок с энергией 1-3 МДж и проектов лазеров-драйверов импульсно-периодического режима на керамике с иттербием с полупроводниковой накачкой для будущего термоядерного реактора. Автором обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность результатов работы, представлены защищаемые положения, информация об апробации работы на конференциях, изложено краткое содержание диссертации, обоснована актуальность выбранной темы диссертации, научная новизна, значимость работы и сформулированы цели исследования.

В первой главе представлен обзор свойств лазерных сред на неодимовых стеклах. Приводится структура лазерного перехода ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$ ($\lambda \approx 1,06 \mu\text{м}$) со штарковскими компонентами, контур неоднородно уширенной линии люминесценции в силикатном стекле, обсуждаются эксперименты по измерению времени жизни ионов Nd^{3+} на нижнем лазерном уровне ${}^4I_{11/2}$. В этой же главе приводятся результаты первых экспериментов автора по генерации и усилению лазерных импульсов с длительностью 40-50 нс в неодимовом стекле и экспериментов по получению лазерной плазмы при фокусировке излучения на твердотельную мишень.

Во второй главе диссертации приведены результаты экспериментальных исследований по формированию в задающих генераторах лазерных импульсов нано- и пикосекундной длительности (10^{-8} - 10^{-11} с) для установок на неодимовом стекле. В лазере с модуляцией добротности затвором Керра впервые были получены импульсы длительностью 10–30 нс с энергией до 1 Дж. Для обострения переднего фронта лазерных импульсов применялись электрооптические и просветляющиеся затворы вне резонатора. Автором впервые был применен затвор из тонкой алюминиевой пленки на лавсане, испаряемой излучением. В результате, были сформированы импульсы с крутизной переднего фронта ≈ 1 нс. Предложен и рассмотрен механизм просветления алюминиевой пленки при переходе металл-диэлектрик в расширяющемся слое Al . Разработаны и созданы генераторы на неодимовом стекле и кристалле $Nd:YAG$ с периодической модуляцией добротности резонатора, излучавшие импульсы длительностью $\approx 0,5$ нс. Проведены исследования генератора с пассивной синхронизацией мод с лазерными импульсами ультракороткой длительности (≈ 20 пс). В генераторах на неодимовом стекле с пикосекундными и субнаносекундными импульсами была обнаружена самофокусировка лазерного пучка, установлено ее

влияние на деградацию временной структуры и снижение контраста импульсов генерации. Разработанные с участием Ю.В. Сенатского генераторы лазерных импульсов нано- и пикосекундной длительности применялись в качестве задающих блоков в неодимовых лазерных установках ФИАН.

В третьей главе представлены результаты исследования усилителей лазерных импульсов нано- и пикосекундной длительности на неодимовом стекле. Рассмотрены усилители на основе дисков, плит (слэбов) и стержней. В установках лаборатории КРФ и Отделения КРФ ФИАН в 1960 - 90-х гг. основным видом активных элементов стали стержни из неодимового стекла. Такой выбор дал возможность комплектации установок стержнями и осветителями с импульсными лампами промышленного изготовления. Автором проведены исследования термооптических искажений в стержнях генератора и усилителя, возникающих при накачке лампами, а также процессов, которые снижали эффективность создания инверсии. Исследовано влияние наведенного накачкой двойного лучепреломления в активных элементах на деполяризацию и профиль пучка в генераторах и усилителях. Зарегистрировано формирование «гигантских» импульсов суперлюминесценции (длительность $\approx 10^{-8}$ с), снижавших инверсию в усилителе. Зарегистрированы эффекты перемещения вершины и сокращения длительности импульсов наносекундной длительности при усилении в неодимовом стекле в режиме насыщения. С помощью численного моделирования проведен анализ динамики сброса инверсии при усилении наносекундных импульсов в неодимовом стекле при учете штарковской структуры и неоднородного уширения уровней лазерного перехода ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$. Представлены иллюстрации эффекта «выжигания» спектральных дыр в линии люминесценции излучением различного спектра, а также получены зависимости коэффициента усиления и съема инверсии от плотности энергии в импульсах. Результаты расчётов качественно подтверждены экспериментальными данными. При усилении пикосекундных импульсов обнаружено ограничение роста энергии лазерного пучка на уровне ≤ 1 Дж/см², что меньше плотности энергии насыщения в неодимовом стекле. Это ограничение связано с возникновением самофокусировки лазерного пучка в оптической среде усилителя. При непосредственном участии автора, в лаборатории КРФ ФИАН были созданы лазерные системы в составе задающий генератор-многоступенчатый усилитель на активных элементах из неодимового стекла. На их выходе достигнуты рекордные для своего времени параметры лазерного излучения: при длительности 3–5 нс энергия достигала 100 Дж (мощность до $2 \cdot 10^{10}$ Вт), а в случае импульсов длительностью ≈ 20 пс мощность лазерного излучения была в диапазоне $10^{11} - 10^{12}$ Вт.

В главе 4 содержатся результаты исследования механизмов ограничения мощности и яркости излучения в неодимовых лазерных установках с нано- и пикосекундными импульсами. Основное внимание уделено самофокусировке лазерного пучка в оптической среде лазерной установки. Были обнаружены нитевидные разрушения в активных элементах усилителя. Проведенный автором анализ структуры разрушений в объеме и на торцах стержней усилителя, сопоставление с теорией, позволили классифицировать наблюдающуюся картину разрушений как результат мелкомасштабной самофокусировки (ММС) лазерного пучка в среде лазера. Установлено, что кольцевые разрушения на торцах возникали из-

за выбросов интенсивности на профиле лазерного пучка при его дифракции на диафрагмах и локальных неоднородностях в оптическом тракте установки. Дифракционные выбросы способствовали развитию ММС и возникновению разрушений с характерной квазипериодической пространственной структурой в результате расслоения пучка на отдельные фрагменты. Представлены результаты исследований ММС и сопутствующих явлений: уширения спектра, рассеяния, поглощения лазерного излучения, искажений пространственных и временных характеристик лазерных импульсов. Впервые проведены наблюдения самофокусировки коллимированного лазерного пучка в воздухе. При распространении лазерного пучка с интенсивностью 10^9 - 10^{10} Вт/см² в группе дисков были обнаружены разрушения, обусловленные нелинейным эффектом формирования «горячих» изображений от локальных неоднородностей в среде (объяснение эффекта было дано позже в Ливерморской лаборатории, США). В результате проведенных исследований нелинейных процессов в среде лазера было установлено, что мелкомасштабная самофокусировка - основной механизм ограничения мощности и яркости излучения в неодимовых лазерах для импульсов с длительностью 10^{-9} - 10^{-11} с.

В главе 5 рассматриваются методы формирования пучков в оптическом тракте и на выходе лазерной установки на неодимовом стекле для нагрева плазмы. Автором были предложены методы борьбы с самофокусировкой: секционирование протяженной среды лазера (стержней из неодимового стекла) на фрагменты (диски), использование в лазере расходящихся пучков, а также «мягких» диафрагм, подавляющих дифракционные выбросы на профиле лазерного пучка. Эти методы были опробованы в экспериментах и нашли применение в лазерных установках. В составе коллектива сотрудников лаборатории КРФ ФИАН на одноканальной неодимовой лазерной установке (длительность лазерного импульса ≈ 20 пс, энергия в диапазоне 10 – 20 Дж) Ю.В. Сенатский участвовал в первых экспериментах по регистрации нейтронов из плазмы, образованной при фокусировке импульсов на плоскую мишень из LiD в вакуумной камере. В экспериментах по лазерному нагреву плазмы одной из серьезных проблем является изоляция мишени от фонового излучения лазера, а самого лазера от отраженного мишенью излучения. Для оптической развязки системы лазер-мишень автором было предложено проводить эксперименты по нагреву мишеней излучением лазера, преобразованным во вторую гармонику. Автором предложен метод формирования на выходе многоканальной лазерной установки составных пучков (кластеров), позволяющий оптимизировать систему транспортировки и фокусировки излучения на мишень. Метод формирования кластеров пучков был проверен на макете 9-канального усилителя на стержнях из неодимового стекла и применен при проектировании и создании в ОКРФ ФИАН 108-канальной неодимовой лазерной установки «Дельфин» с выходной энергией лазерного излучения до 2,5 кДж при длительности 2 нс. На этой установке были проведены эксперименты по лазерному нагреву и сжатию сферических мишеней.

В шестой главе приводятся результаты экспериментов с лазерными материалами на основе кристаллов и керамики, которые обладают высокой (по сравнению со стеклами) теплопроводностью и могут в перспективе найти применение в импульсно-периодическом лазере-драйвере для ЛТС с полупроводниковой накачкой. Были

проведены измерения нелинейного показателя преломления n_2 в оксидных керамиках YAG, Y_2O_3 , Sr_2O_3 , Lu_2O_3 , которые показали преимущества керамики YAG (меньшее значение n_2). По результатам этих измерений и экспериментов по формированию инверсии в пластинах из Yb:YAG в качестве среды, перспективной для импульсно-периодического лазера, была выбрана керамика Yb:YAG - материал, активно используемый в настоящее время в лазерных установках. Ю.В. Сенатский внес вклад в разработку методов формирования инверсии и модового состава излучения в лазерах малой мощности на керамике Nd:YAG, Yb:YAG с селективной (полупроводниковой, лазерной) накачкой. Им предложены и экспериментально опробованы метод профилирования инверсии и селекции мод в лазере при размещении активного элемента в зоне дифракции пучка накачки и метод селекции мод с помощью внутрирезонаторной линзы со сферической аберрацией. С помощью разработанных методов в лазерах на керамике Nd:YAG, Yb:YAG была получена генерация на скалярных и векторных модах Лагерра-Гаусса низших и высших порядков. Пучки на модах Лагерра-Гаусса благодаря своим специфическим характеристикам находят много применений, в том числе в мощных лазерах в областях, смежных с исследованиями по ЛТС: для ускорения частиц, в исследованиях взаимодействия излучения с веществом, в лазерной технологии.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы.

В качестве наиболее **важных научных результатов**, можно выделить следующие:

1. Впервые была создана лазерная система на неодимовом стекле в составе генератора с модуляцией добротности и усилителя с мощностью лазерного импульса свыше 10^9 Вт и проведены эксперименты по нагреву плазмы лазерным излучением.

2. Разработаны и созданы генераторы лазерных импульсов с длительностью в диапазоне 10^{-8} - 10^{-11} с на неодимовом стекле и кристалле *Nd:YAG* и реализованы методы формирования временного профиля и контраста лазерного излучения.

3. Выполнены исследования нелинейных процессов, протекающих в среде лазера на неодимовом стекле при высокой интенсивности излучения. Установлена решающая роль мелкомасштабной самофокусировки в ограничении мощности и яркости излучения на выходе лазерной установки.

4. Разработаны методы подавления самофокусировки в лазерной установке: при секционировании протяженной среды лазера (стержней из неодимового стекла) на фрагменты (диски), применением в лазере расходящихся пучков, а также «мягких» диафрагм, подавляющих формирование дифракционных выбросов в пучках.

5. Для оптической развязки системы лазер-мишень, увеличения контраста лазерного импульса и эффективности вложения энергии лазера в мишень предложено преобразование излучения на выходе лазера во вторую гармонику.

6. Предложен метод формирования на выходе многоканальной лазерной установки кластеров пучков, позволяющий оптимизировать систему транспортировки лазерного излучения на мишень (использовано при проектировании и создании в ФИАН лазерной установки «Дельфин»).

7. На основе проведенных исследований в качестве среды, перспективной к применению в лазерах для нагрева плазмы, предложено использовать кристалл $Yb:YAG$ и керамику на его основе.

8. В лазерах на керамике $Nd:YAG$, $Yb:YAG$ получена генерация на скалярных и векторных модах Лагерра–Гаусса низших и высших порядков при размещении активного элемента в зоне дифракции пучка накачки и селекции мод с помощью внутрирезонаторной линзы со сферической аберрацией.

Достоверность полученных результатов определяется тем, что экспериментальные данные, полученные автором, наблюдавшиеся закономерности и новые эффекты получили адекватное теоретическое описание, результаты расчетных работ правильно описывают эксперименты. Результаты исследований, включенных в диссертацию, неоднократно представлялись на национальных и международных конференциях. Публикации автора хорошо известны и неоднократно цитировались в научной литературе. Это свидетельствует о достоверности результатов исследований автора, выводов диссертации и защищаемых положений.

Практическая значимость результатов, представленных в диссертации Ю.В. Сенатского, состоит в том, что обнаружение и исследование самофокусировки лазерного пучка в оптической среде лазерной установки стимулировало дальнейшую разработку методов подавления самофокусировки в лазерных системах. Обнаружение и исследование влияния дифракционных выбросов на профиле лазерного пучка на развитие самофокусировки и разрушений в среде лазера стимулировало разработку «мягких» диафрагм. Предложенные автором методы облучения мишеней излучением высшей гармоники лазера-драйвера, а также кластерами пучков применяются в лазерных установках в исследовательских центрах, работающих по программе ЛТС.

На основе представленного материала можно сделать вывод, что результаты исследований, включенные в диссертацию, получены лично автором, либо под его руководством, и в ряде случаев при его непосредственном участии.

При оценке диссертационной работы отметим некоторые **недостатки**:

1. При обсуждении в параграфе 3.1 различных конфигураций активных элементов и схем усилителей наносекундных импульсов на неодимовом стекле (стр.96) автору следовало бы включить в текст короткую информацию по схеме многопроходового усилителя на дисковых элементах, которая в настоящее время пришла на смену прежним схемам однопроходового усилителя «бегущей волны» и используется в современных неодимовых лазерных установках МДж уровня энергии.

2. Автор участвовал в исследованиях новых лазерных материалов на основе кристаллов и керамики (глава 6). Выбор керамики $Yb:YAG$ для применения в мощных лазерах импульсно-периодического режима представляется вполне обоснованным (параграф 6.1). Вместе с тем, эксперименты по генерации в лазерах на керамике пучков на модах Лагерра–Гаусса высших порядков (по-своему интересные) представляются слабо связанными с проблемой формирования лазерных пучков для нагрева плазмы (параграфы 6.2 и 6.3).

Сделанные замечания не снижают общей **высокой оценки** диссертации Ю.В. Сенатского, выполненной на высоком научном уровне.

Диссертация Ю.В. Сенатского представляет собой научно-исследовательскую работу на актуальную тему, относящуюся к одной из областей современной лазерной физики. Полученные научные результаты имеют важное значение для науки и практики. Ю.В. Сенатский, являясь одним из участников по программе создания широкого диапазона твердотельных лазеров в Физическом институте им. П.Н. Лебедева (руководитель программы - академик Н.Г. Басов), внес заметный вклад в разработку и создание лазерных систем для их использования в работах по осуществлению ЛТС в нашей стране. Выводы, полученные в диссертации, вполне обоснованы. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Все используемые в работе материалы других авторов подкреплены ссылками. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы, доложены на отечественных и зарубежных конференциях и хорошо известны специалистам.

Содержание диссертации Ю.В. Сенатского полностью соответствует специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Результаты диссертационной работы **могут быть использованы** в ФБГУН-ФИ РАН, ФБГУН-ИОФ РАН, ФБГУН-ОИВТ РАН, МГУ, ФБГУН-ИПФ РАН, РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ, НИИ лазерной физики (ГОИ) и других научных институтах и центрах.

Диссертация Ю.В. Сенатского и отзыв на нее обсуждены и одобрены на заседании научного семинара отдела взаимодействия когерентного излучения с веществом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, протокол № 2 от 13 апреля 2016 г.

Диссертация Ю.В. Сенатского представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.

Ю.В. Сенатский, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Отзыв составил д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН, Пашинин П.П., главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук.

Главный научный сотрудник ИОФ РАН
д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН,
119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38
(499)-135-20-55, pashinin@gpi.ru

Пашинин Павел Павлович

Ученый секретарь ИОФ РАН,
д.ф.-м.н.
119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38
(499)-503-83-27, nauka@gpi.ru

Андреев Степан Николаевич

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Сенатского Юрия Всеволодовича «ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ЛАЗЕРЕ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО НАГРЕВУ ПЛАЗМЫ», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук
Сокращенное наименование	ИОФ РАН
Организационно-правовая форма	ФГБУН
Тип организации	Научная организация
Ведомственная принадлежность	Российская академия наук
Почтовый адрес	Россия, 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38
Адрес сайта	www.gpi.ru
Адрес электронной почты	postmaster@kapella.gpi.ru
Телефон	8-(499)-135-41-48

СПИСОК

работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях Ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
1	Характеристики оптического квантового генератора на рубине, работающего в режиме импульсной добротности.	Научная статья	Гваладзе Т.В. Красюк И.К. Пашинин П.П. Прохиндеев А.В. Прохоров А.М.	ЖЭТФ, 48 (1), 106-110 (1965)	Да
2	Кольцевой оптический квантовый генератор сверхкоротких импульсов на рубине	Научная статья	И.К. Красюк П.П. Пашинин А.М. Прохоров	Письма в ЖЭТФ, 7 (4), 117-119 (1968)	Да
3	Мощный компактный лазер с сегментированной продольной накачкой связанных каналов	Научная статья	Д.Н. Мамонов, Н.Н. Ильичев, А.А. Сироткин, П.А. Пивоваров, С.Г. Ребров, С.И. Державин,	Квантовая Электроника, 45 , 508 (2015)	Да

	генерации		С.М. Климентов.		
4	Спектры поглощения и нелинейное пропускание (на $\lambda = 2940$ нм) монокристалла $ZnSe : Fe^{2+}$, легированного диффузионным методом	Научная статья	Г.А. Буфетова, Э.С. Гулямова, Н.Н. Ильичев, А.С. Насибов, П.П. Пашинин, П.В. Шапкин	Квантовая Электроника, 45 , 521 (2015)	Да
5	Линейное и нелинейное пропускание кристалла $ZnSe$, легированного Fe^{2+} , на длине волны 2940 нм в диапазоне температур 20 – 220 °С	Научная статья	Н. Н. Ильичев, П. П. Пашинин, Э. С. Гулямова, Г. А. Буфетова, П. В. Шапкин, А. С. Насибов	Квантовая Электроника, 44 , 213 (2014)	Да
6	Лазер на кристалле $ZnSe:Fe^{2+}$ с накачкой излучением нецепного электроразрядного HF-лазера при комнатной температуре	Научная статья	С.Д. Великанов, В.П. Данилов, Н.Г.Захаров, Н.Н. Ильичев, С.Ю. Казанцев, В.П. Калинушкин, И.Г. Кононов, А.С. Насибов, М.И. Студеникин, П.П. Пашинин, К.Н. Фирсов, П.В. Шапкин, В.В. Щуров	Квантовая Электроника, 44 , 141 (2014)	Да
7	Планарный Хе-лазер с непрерывной высокочастотной накачкой	Научная статья	А.П. Минеев, А.П. Дроздов, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин, П. А. Гончаров, В.В. Киселев	Квантовая Электроника, 42 , 575 (2012)	Да
8	Пассивная модуляция добротности лазера на стекле с эрбием с помощью кристалла $ZnSe:Co^{2+}$	Научная статья	Н. Н. Ильичев, П. П. Пашинин, П. В. Шапкин, А. С. Насибов	Квантовая Электроника, 37 , 10, 974–980 (2007)	Да
9	Самосинхронизация мод с помощью пассивного затвора на основе одностенных	Научная статья	Н. Н. Ильичев, Е. Д. Образцова, П. П. Пашинин, В. И. Конов, С. В. Гарнов	Квантовая Электроника, 34 , 9, 785–786 (2004)	Да

	углеродных нанотрубок в лазере на кристалле LiF:F_2				
10	Исследование стойкости поглощающих центров в кристалле $\text{CaF}_2:\text{Pr}^{2+}$ к воздействию мощного лазерного излучения	Научная статья	Н. Н. Ильичев, П. П. Пашинин, Э. С. Гулямова	Квантовая Электроника, 31 , 7, 597–598 (2001)	Да
11	Модуляция добротности в кристаллическом $\text{YSGG}:\text{Cr}^{3+}:\text{Yb}^{3+}:\text{Ho}^{3+}$ -лазере на переходе $^5\text{I}_6 \rightarrow ^5\text{I}_7$ ($\lambda = 2.92$ мкм)	Научная статья	Ю. Д. Заварцев, А. И. Загуменный, Л. А. Кулевский, А. В. Лукашев, П. П. Пашинин, П. А. Студеникин, И. А. Щербаков, А. Ф. Умысков	Квантовая электроника, 27 , 1, 13–15 (1999)	Да
12	Поляризация неодимового лазера с пассивным затвором на основе кристалла $\text{YAG}:\text{Cr}^{4+}$	Научная статья	Н. Н. Ильичев, А. В. Кирьянов, Э. С. Гулямова, П. П. Пашинин	Квантовая электроника, 25 , 1, 19–22 (1998)	Да

Список верен.

Ученый секретарь ИОФ РАН
д.ф.-м.н.



Андреев С.Н.