

3. Отделение нелинейной динамики и оптики

3.1. Впервые в мире разработан эндоскопический оптический когерентный томограф для интраоперационного контроля хирургии сетчатки и зрительного нерва, оснащенный сменным зондом с наружным диаметром наконечника 0,62 мм. При скаТемаовании излучением суперлюминесцентного источника на длине волны 1310 нм реализована разрешающая способность 20 мкм с глубиной отображения 1,5 мм. Прибор дает возможность осуществлять эндоскопический контроль в ходе операционного вмешательства и визуализировать в режиме реального времени многоуровневые структуры заднего отдела глаза в области слоя нервных волокон сетчатки и зрительного нерва. Проведена успешная апробация прибора на человеке в ряде операций.

Авторы: Геликонов Г.В., Геликонов В.М., Ксенофонов С.Ю., Терпелов Д.А., Ромашов В.Н.

Аннотация. В Институте прикладной физики РАН совместно с ГУ НИИ глазных болезней РАМН, ООО «Центром диагностики и хирургии заднего отдела глаза», ООО «Биомедицинские технологии» разработан эндоокулярный оптический когерентный томограф для хирургии сетчатки и зрительного нерва. Эндоокулярной ОКТ оснащен сменным зондом с наружным диаметр наконечника 0,62 мм. При скаТемаовании излучением суперлюминесцентного источника на длине волны 1310 нм реализована разрешающая способность 20 мкм с глубиной отображения 1,5 мм. В ходе операционного вмешательства при введении зонда во внутреннюю область глаза в режиме реального времени прибор дает возможность:

- видеть в ходе вмешательства в режиме реального времени многоуровневые полости в структурах заднего отдела глаза;
- оценивать толщину нижележащей плоской структуры для выбора оптимального места её пункции;
- находить щелевидные пространства между плоскостными структурами для более безопасного их разделения;
- интраоперационной дифференцировки мембран от слоя нервных волокон сетчатки.

Прибор разработан впервые в мире и не имеет аналогов.

Публикации

1. Grigory Gelikonov "Endoscopic device". Invited report on congress "MACULA of PARIS 2010", 14 -15 of January, 2010.

3.2. По заказу организации КЕК (Тцукуба, Япония) создана лазерная установка, для возбуждения фотокатода инжектора электронов в линейном ускорителе международного проекта "International Linear Collider". Установка излучает в ультрафиолетовом диапазоне (четвёртая гармоника Nd:YLF лазера – 262 нм) цуги импульсов с частотой повторения 5 Гц. Каждый цуг состоит из 2047 ± 1 импульсов длительностью 10 пс, частота повторения которых 2,708 МГц поддерживается с точностью не хуже 10 Гц. Используя падающий участок зависимости КПД преобразования в гармоники от мощности излучения на основной частоте, удалось снизить значение среднеквадратичного отклонения энергии пикосекундных импульсов в цуге до 2.3% при общей эффективности преобразования в четвертую гармонику 27%.

Авторы: Потёмкин А.К., Гачева Е.И., Зеленогорский В.В, Катин Е.В., Кожеватов И.Е., Ложкарёв В.В., Лучинин Г.А., Силин Д.И., Хазанов Е.А. (ИПФ РАН) Г.В.

Трубников, Г.Д. Ширков, (ОИЯИ) М. Курики (Университет Хиросимы, Япония), Дж. Уракава, (КЕК, Япония)

Аннотация. Инжектор электронов в линейных ускорителях играет ключевую роль среди остальных компонент ускорителя. От него зависит яркость электронных пучков, т.е. заряд и эмитанс. Среди множества схем инжекторов электронов пучки с высокой яркостью производят фотоинжекторы, в которых электроны излучаются фотокатодом, помещённым в СВЧ резонатор. В качестве источника света в фотоинжекторах используют пикосекундные лазеры, работающие в УФ диапазоне. К этим лазерам предъявляются жесткие требования, особенно к стабильности энергии импульсов и к частоте их повторения. Импульсы объединяются в длинные (порядка мс) цуги со строго заданным количеством импульсов. Совокупность таких параметров не позволяет использовать коммерческие лазеры.

По проекту ILC (международный линейный коллайдер) предполагается построение электрон - позитронного коллайдера с энергией в пучках до 1.0 TeV и яркостью $2.0 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Для отработки и демонстрации технологии изготовления криогенных модулей ВЧ ускорения электронов в организации КЕК (Япония) функционирует установка STF (Super - conducting Test Facility). В качестве источника электронов используется фотоинжектор на CsTe катоде в ВЧ резонаторе электронной пушки. Источником света в фотоинжекторе служит описываемая в настоящей работе лазерная система – лазерный драйвер.

В соответствии с требованиями КЕК к фотоинжектору, нами была создана лазерная установка, полностью удовлетворяющая их требованиям. Излучение на выходе установки на длине волны 261.75 нм состояло из 900 мкс строго прямоугольных цугов импульсов длительностью 8.5 пс. Частота следования импульсов 2.708 МГц перестраивается в полосе 32 кГц с точностью лучше 10 гц. Энергия в каждом импульсе составляет 1.7 мкДж с долговременным отклонением от среднего значения 2.3%. Такая точность поддержания энергии импульсов обеспечивается благодаря работе Генератора Четвёртой Гармоники в режиме обратной перекачки частоты во вторую гармонику. Этот эффект хотя и приводит к незначительному снижению эффективности преобразования в гармоники излучения лазера, но одновременно с этим снижается имеющаяся в излучении лазера нестабильность энергии. Используя компромисс между этими двумя процессами, нам удалось при общей эффективности преобразования из основной гармоники лазера в четвёртую гармонику 27% снизить средне квадратичное отклонение энергии импульсов от среднего значения до 2.3%.

Публикации

1. А.К. Потёмкин, Е.И. Гачева, В.В. Зеленогорский, Е.В. Катин, И.Е. Кожеватов, В.В. Ложкарёв, Г.А. Лучинин, Д.Е. Силин, Е.А. Хазанов, Г.В. Трубников, Г.Д. Ширков, М. Курики, Дж. Уракава, «Лазерный драйвер для фотокатода линейного ускорителя электронов», Квантовая электроника (статья прошла стадию рецензирования).

2. M. Kuriki, H. Iijima, Hiroshima U., Higashi-hiroshima, Japan H. Hayano, Y. Honda, H. Sugiyama, J. Urakawa, G. Isoyama, S. Kashiwagi, R. Kato, E.Katin, E.Khazanov, V.Lozhkarev, G.Luchinin, A.Poteomkin, G.Shirkov, G.Trubnikov, “Development of a high average power laser generating electron beam in ilc format for kek-stf”, Annual meeting PASF, IPAC 2010

3.3. Предложен универсальный метод формирования предельно коротких импульсов электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах, от инфракрасного до рентгеновского, основанный на резонансном взаимодействии излучения со средой в условиях периодической адиабатической модуляции положения

энергетических атомных уровней и периодической туннельной ионизации из возбужденных состояний под действием нерезонансного низкочастотного излучения с интенсивностью, много меньшей порога ионизации. Показана возможность получения близких к спектрально ограниченным импульсов, содержащих около трех периодов поля, длительностью до $1,25 \text{ фс}$ на длине волны 122 нм в атомарном водороде и до 135 ас на длине волны $13,5 \text{ нм}$ в среде ионов Li^{2+} с эффективностью преобразования до нескольких процентов.

Авторы: Е.В. Радионычев, В.А. Половинкин, О.А. Кочаровская

Аннотация. Исследования, связанные с генерацией предельно коротких импульсов электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах, от терагерцового до рентгеновского, привлекают большой интерес в связи с фундаментальной физикой процессов и перспективными приложениями. Существующие методы получения предельно коротких импульсов основаны на нерезонансном взаимодействии излучения со средой и работоспособны в определенных частотных интервалах. Наиболее короткие полученные импульсы аттосекундной длительности формируются в рентгеновском диапазоне методом генерации высоких гармоник мощного низкочастотного лазерного излучения, ионизирующего атомы или молекулы. Метод обладает низкой эффективностью преобразования, а импульсы – малой энергией.

Нами предложен универсальный метод формирования предельно коротких импульсов электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах, от инфракрасного до рентгеновского. Метод основан на глубокой амплитудно-частотной модуляции распространяющегося в среде резонансного высокочастотного излучения в присутствии низкочастотного лазерного излучения далекого от резонанса. Интенсивность полей много ниже порога ионизации. Воздействие на среду низкочастотного излучения заключается в пространственно-временной модуляции положения энергетических атомных уровней за счет адиабатического эффекта Штарка и периодической туннельной ионизации из *возбужденных* состояний, резонансно заселяемых высокочастотным излучением (ионизация из основного состояния отсутствует). Величины штарковских сдвигов и скорости ионизации возбужденных энергетических уровней определяются мгновенным в пространстве и времени значением напряженности низкочастотного электрического поля. В результате имеет место периодическое в пространстве и времени исчезновение и восстановление резонанса между высокочастотным излучением и квантовым переходом среды. Указанная модуляция параметров среды является источником параметрической генерации комбинационных частот распространяющихся в среде высокочастотного и низкочастотного полей. Оптимальный подбор интенсивностей и частот низкочастотного и резонансного высокочастотного полей позволяет получить широкий спектр комбинационных частот, а при оптимальной толщине среды ее собственная резонансная дисперсия обеспечивает пространственный синхронизм возникших спектральных компонент, обуславливая формирование последовательности экстремально коротких импульсов излучения. Длительность и период следования импульсов определяются соответственно интенсивностью и периодом низкочастотного излучения. Эффективность генерации импульсов обусловлена сильным резонансным характером взаимодействия высокочастотного излучения со средой.

Потенциальные возможности предложенного метода показаны на примере водородоподобной квантовой системы. Рассмотрено несколько возможных реализаций с использованием доступных источников излучения. В частности, показана возможность преобразования излучения H_2 -лазера (или Ar_2^* -эксимерного лазера) на длине волны $121,6 \text{ нм}$ ($126,1 \text{ нм}$) в последовательность импульсов длительностью $1,25 \text{ фс}$ и периодом повторения $17,8 \text{ фс}$, в ячейке атомарного водорода концентрацией 10^{18} см^{-3} длиной 1 мм под действием излучения CO_2 -лазера интенсивностью $2,2 \cdot 10^{13} \text{ Вт/см}^2$. Также показана

возможность преобразования излучения Li^{2+} -плазмы на длине волны $13,5 \text{ нм}$ в последовательность импульсов длительностью 135 ас и периодом повторения $1,8 \text{ фс}$, в ячейке ионов Li^{2+} концентрацией 10^{20} см^{-3} длиной $0,1 \text{ мм}$ под действием излучения Nd:YAG-лазера интенсивностью $1,6 \cdot 10^{16} \text{ Вт/см}^2$. В обоих случаях импульсы содержат около трех периодов поля и являются близкими к спектрально ограниченному пределу.

Публикации

1. Y.V. Radeonychev, V.A. Polovinkin, and O. Kocharovskaya, Pulse shaping via modulation of resonant absorption, *Laser Physics*, v.19, p.769 (2009).
2. В.А. Половинкин, Е.В. Радионычев, Формирование оптических импульсов посредством модуляции частоты резонансного квантового перехода в спектрально-неоднородной среде, *Квантовая электроника*, т.40, с.115 (2010).
3. Y.V. Radeonychev, V.A. Polovinkin, and O. Kocharovskaya, Extremely short pulses via Stark modulation of the atomic transition frequencies, *Phys. Rev. Lett.*, v.105, 183902 (2010).
4. V Y.V. Radeonychev, V.A. Polovinkin, and O. Kocharovskaya, Extremely short pulses via resonantly induced transparency, *Laser Physics* (принято в печать).

3.4. Исследован процесс генерации аттосекундных импульсов с амплитудой значительно превышающей амплитуду возбуждающего лазерного импульса при наклонном облучении поверхности закритической плазмы. Разработана универсальная аналитическая модель, названная моделью *релятивистской электронной пружины*, исследованы возможные режимы взаимодействия и найдена область параметров наиболее эффективной конверсии фемтосекундного излучения в аттосекундный диапазон. На основе исследования предложена новая концепция взаимодействия мощного лазерного импульса с желобообразной твердотельной мишенью для получения интенсивностей свыше 10^{26} Вт/см^2 необходимых для наблюдения эффектов нелинейности вакуума с использованием лазерных источников, которые будут доступны в ближайшем будущем.

Авторы: Гоносков А.А., Коржиманов А.В., Ким А.В., Сергеев А.М. (ИПФ РАН), Marklund M. (Umea University, Швеция)

Аннотация. Развитие технологий генерации сверхмощных лазерных импульсов в последние годы привело к достижению интенсивности оптического излучения $2 \times 10^{22} \text{ Вт/см}^2$ [V. Yanovsky et al., *Opt. Express*. 16, 2109 (2008)] и стимулировало строительство нескольких мультитераваттных лазеров с пиковой интенсивностью на уровне 10^{23} Вт/см^2 [www.extreme-light-infrastructure.eu.]. Освоение таких источников излучения открывает возможности для изучения ряда новых фундаментальных задач, среди которых наблюдение эффектов нелинейности вакуума выглядит одной из наиболее интригующих. Как показывают недавние расчеты и оценки [R. Bell and J. G. Kirk, *Phys. Rev. Lett.* 101, 200403 (2008); G. V. Dunne, H. Gies, and R. Schützhold, *Phys. Rev. D* 80, 111301 (2009); A.M. Fedotov et al., arXiv:1004.5398v1 (2010).], для наблюдения, например, пробоя вакуума и генерации ливней частиц в лабораторных условиях требуется интенсивность на уровне 10^{26} Вт/см^2 . Одним из наиболее очевидных путей достижения такой интенсивности является высокоэффективная трансформация энергии сверхмощного лазерного импульса из фемтосекундного в аттосекундный диапазон длительностей, соответствующий длинам волн XUV и рентгеновского диапазона, и последующая фокусировка полученного при этом коротковолнового излучения в пятно, ограниченное дифракционным пределом на уровне нескольких нанометров. В последние годы активно обсуждались различные реализации этого подхода, включая концепцию фокусировки высоких гармоник сгенерированных на сферической поверхности плазмы [S.V. Bulanov, N.M. Naumova, and

F. Pegoraro, Phys. Plasmas 1, 745 (1994); D. von der Linde, and K. Rzàzewski, Appl. Phys. B: Laser Opt. 63, 499 (1996); N.M. Naumova et al., Phys.Rev. Lett. 92, 063902 (2004); S. Gordienko, A. Pukhov, O. Shorokhov, and T. Baeva, Phys. Rev. Lett. 94, 103903 (2005).] и концепций отражения и фокусировки лазерного импульса от релятивистского зеркала при опрокидывании кильватерной волны в плазме [S.V. Bulanov, T.Zh. Esirkepov, and T. Tajima, Phys. Rev. Lett. 91, 085001 (2003)] или при выталкивании лазерным импульсом электронов из тонких пленок [V.V. Kulagin, V.A. Cherepenin, M.S. Hur, H. Suk, Phys. Rev. Lett. 99, 124801 (2007)]. Однако, как правило, небольшая эффективность трансформации лазерного излучения в аттосекундный диапазон и невысокое пространственное качество трансформированного импульса почти уничтожают выигрыш от его возможной фокусировки в маленькое фокальное пятно.

Недавно в численном моделировании процесса наклонного облучения поверхности закритической плазмы был обнаружен эффект генерации гигантских аттосекундных импульсов с амплитудой значительно превышающей амплитуду падающей волны [D. an der Brügge, and A. Pukhov, Phys. Plasmas 17, 033110 (2010)], что противоречит общепринятой модели релятивистского осциллирующего зеркала (ROM). Нами был детально проанализирован процесс трансформации энергии оптической волны и разработана новая универсальная теоретическая модель «*релятивистской электронной пружины*» для описания процесса при ультрарелятивистских интенсивностях падающего излучения. Модель позволяет аналитически исследовать все возможные режимы взаимодействия, получить почти точный профиль отраженного сигнала и определить оптимальные параметры для наиболее эффективной трансформации энергии в аттосекундный диапазон при генерации гигантских импульсов. Проведенное численное исследование методом частиц в ячейках (Particle-In-Cell) показало хорошее согласие с моделью и позволило определить оптимальные параметры (угол падения и отношение безразмерной концентрации плазмы к безразмерной амплитуде волны). На основе исследования была предложена новая концепция взаимодействия мощного лазерного импульса с твердотельной мишенью в виде слабо искривленного зеркала для получения интенсивностей свыше 10^{26} Вт/см² необходимых для наблюдения эффектов нелинейности вакуума с использованием лазерных источников, которые будут доступны в ближайшем будущем. Концепция была подтверждена прямым численным моделированием.

Публикации

1. A.A. Gonoskov, A.V. Korzhimanov, A.V. Kim, and A.M. Sergeev Generation of giant attosecond pulses at irradiation of overdense plasma surface in the regime of relativistic electronic spring ICUIL 2010, 26 сентября – 1 октября, Watkins Glen, New York, USA 125-126.

2. A.A. Gonoskov, A.V. Korzhimanov, A.V. Kim, M. Marklund, and A.M. Sergeev Giant attosecond pulse generation and focusing at optimal interaction of an ultrarelativistic laser pulse with an overdense plasma (направлено в Phys. Rev. Lett.).

3.5. Предложена и экспериментально реализована новая схема создания оптически синхронизированных фемтосекундных импульсов на двух сильно различающихся длинах волн в ближнем ИК диапазоне, основанная на эффектах сверхуширения спектра и синхронного взаимодействия цуга коротковолновых дисперсионных волн и длинноволнового солитона, расположенных по разные стороны от длины волны нулевой дисперсии в специальном нелинейном световоде со смещенной дисперсией. В компактной полностью волоконной гибридной эрбиево-иттербиевой лазерной системе продемонстрирована генерация импульсов длительностью 55 фс на длине волны 1.05 мкм, с возможностью усиления до 100 нДж с выходной длительностью 180 фс, и

синхронизированных с ними по времени ультракоротких импульсов длительностью 20-40 фс в диапазоне 1.6-1.8 мкм.

Авторы: Андрианов А.В., Анашкина Е.А., Муравьев С.В., Ким А.В

Аннотация. Разработана новая схема построения двухдиапазонного полностью волоконного источника оптически синхронизированных фемтосекундных импульсов на длинах волн около 1 мкм и 1.6-1.8 мкм. В основу получения синхронизированных импульсов в ближнем и среднем ИК диапазонах положен эффект сверхуширения спектра и переноса энергии фемтосекундного импульса как в область меньших так и больших длин волн при распространении в высоконелинейном световоде со специально выбранными дисперсионными характеристиками. В предложенной схеме достаточно мощные фемтосекундные импульсы на исходной длине волны 1.56 мкм преобразуются в кварцевом световоде со смещенной точкой длины волны нулевой дисперсии групповой скорости. Выбор положения точки нуля дисперсии обеспечивает достаточно эффективную генерацию коротковолнового крыла спектра в области нормальной дисперсии благодаря синхронному взаимодействию цуга высокочастотных дисперсионных волн с солитонным импульсом, формирующимся в области аномальной дисперсии в длинноволновой части спектра. Коротковолновый импульс далее может быть усилен до высоких уровней энергии в иттербиевом волоконном усилителе.

Построена полностью волоконная эрбиевая/иттербиевая система реализующая генерацию синхронизированных импульсов на длинах волн около 1 мкм и 1.6-1.8 мкм. Исходные оптические импульсы на длине волны 1.56 мкм генерируются в волоконном эрбиевом задающем генераторе, работающем в режиме пассивной синхронизации мод, в совокупности с волоконным эрбиевым усилителем с диодной накачкой. Импульсы испытывают перестройку спектра в нелинейном кварцевом световоде со смещенной точкой нулевой дисперсии, далее, высокочастотные спектральные компоненты усиливаются в двухкаскадном иттербиевом усилителе, после чего сжимаются в решеточном компрессоре. Экспериментально получена генерация импульсов длительностью 55 фс на длине волны 1.06 мкм, синхронизированных с 20 фс импульсами на длине волны 1.7 мкм. Продемонстрировано усиление коротковолновых импульсов в иттербиевом волокне до энергии 4 нДж при длительности 85 фс и до энергии 100 нДж при длительности 180 фс.

Публикации

1. E. Anashkina, A. Andrianov, S. Muraviov, and A. Kim, Towards few cycle light pulses with all-fiber erbium-doped laser system, Proc. of IV Intern. Conf.: Frontiers of Nonlinear Physics, Nizhny Novgorod St.-Petersburg, 2010, pp.143-144.
2. A.V. Andrianov, E.A. Anashkina, S.V. Muraviov, and A.V. Kim, All-fiber design of hybrid Er-doped laser/Yb-doped amplifier system for high power ultrashort pulse generation //Optics Letters Vol. 35, Issue 22, pp. 3805-3807 (2010)

3.6. Разработан метод и создана экспериментальная установка для исследования лабораторных животных с использованием флуоресцентных маркеров, позволяющие проводить оценку времени релаксации флуорофора. Проведена серия *ex vivo* и *in vivo* экспериментов с красными флуоресцентными белками (DsRed2, TurboRFP и др.), продемонстрировавшая точность оценки времени релаксации ~200 пикосекунд, что достаточно для исследования ферментативной активности на основе резонансного переноса энергии между белками *in vivo*. Метод открывает новые возможности в изучении механизма действия лекарств.

Авторы: И.В. Турчин, М.С. Клешнин, И.И. Фикс (ИПФ РАН), А.Русанов, А.П. Савицкий (ИНБИ РАН)

Аннотация. Одним из наиболее эффективных подходов к изучению разнообразных молекулярных процессов в живых клетках является использование сенсоров на основе пары флуоресцентных белков, обеспечивающих флуоресцентно-резонансный перенос энергии (fluorescence resonance energy transfer – FRET). В частности, на основе эффекта FRET, регистрируемого по времени релаксации флуорофора (FRET-сенсора), изучаются механизмы действия новых лекарственных препаратов. В настоящее время такие исследования проводятся только на клеточных культурах с использованием флуоресцентной микроскопии в реальном времени (fluorescence lifetime image microscopy - FLIM). Нами впервые создана экспериментальная установка для *in vivo* регистрации FRET в лабораторных животных. Для возбуждения флуоресценции был изготовлен волоконный лазер на базе источника Fianium (Великобритания) на длине волны 525 нм, что соответствует полосе поглощения красных флуоресцентных белков, таких как DsRed2 и TurboRFP и др., с длительностью импульса менее 0.5 нс, частотой повторения 200 кГц и средней мощностью 17 мВт. Лазерное излучение проходит сквозь вращающуюся оптически мутную пластину для получения однородного освещения на поверхности экспериментального объекта. Флуоресцентное свечение регистрируется камерой с многоканальным фотокатодом (Stanford Computer Optics, США), позволяющим стробировать оптические импульсы с временным разрешением до 200 пикосекунд. Снимая поочередно кадры с различными временными задержками относительно зондирующего импульса, можно получить всю временную зависимость в каждой пространственной точке изображения. В сравнении с традиционно используемым в микроскопии методом счета коррелированных во времени фотонов (Time-Correlated Single Photon Counting - TCSPC) с помощью фотоэлектронного умножителя, описанный выше способ имеет гораздо меньшее временное разрешение. Однако если в задаче не требуется получать высокое временное разрешение (например, для регистрации FRET достаточно разрешения около 200-500 пс), а временной измерительный интервал относительно небольшой и составляет 3-4 нс, то применение камеры с многоканальным фотокатодом в качестве регистрирующего элемента позволяет существенно сократить время получения изображений по сравнению с методом TCSPC. Кроме того, при регистрации флуоресценции камерой не требуется установка системы скапирования детектором. Для апробации установки была проведена серия *in vivo* исследований на экспериментальных животных с опухолью, меченной флуоресцирующим белком Turbo-RFP и *ex vivo* исследований с использованием FRET-сенсора TagRFP-23-KFP, разработанного в ИНБИ РАН. В экспериментах показано, что точность измерения времени релаксации флуорофора составляет не менее 200 пикосекунд, а чувствительность достаточна для регистрации FRET в процессе изучения механизма действия противоопухолевых препаратов *in vivo*.

Публикации

1. Alexander L. Rusanov, Tatiana V. Ivashina, Leonid M. Vinokurov, Ilya I. Fiks, Anna G. Orlova, Ilya V. Turchin, Irina G. Meerovich, Victorya V. Zherdeva, and Alexander P. Savitsky, "Lifetime imaging of FRET between red fluorescent proteins", J. Biophotonics, published online: 5 Oct. 2010.

2. I. Turchin, M. Kleshnin, A. Orlova, I. Fiks, I. Meerovich, and A. Savitsky, "Fluorescence imaging for detection of RFP-expressed tumors in small animals", International Symposium on "Topical Problems of Biophotonics", Proceedings of II International Symposium "Topical Problems of Biophotonics", 2009, p.80-81

3. I. Turchin, I. Fiks, M. Kleshnin, A. Orlova, A. Rusanov, and A. Savitsky, "Fluorescence tomography of red fluorescent protein expressed tumors in small animals", Book of Abstracts of the International Conference Laser Applications in Life Science LALS-2010, Tampere University Press - Juvenes Print, 2010, p.121

3.7. Разработан криогенный изолятор, представляющий собой вращатель Фарадея на постоянных магнитах, размещенный внутри автоматизированной криогенной системы, в котором тепловые эффекты подавлены за счет охлаждения магнитооптического элемента до азотных температур. Для излучения с длиной волны 1 мкм экспериментально достигнута степень изоляции 21 дБ при мощности тепловыделения 7 Вт, что соответствует лазерной мощности 7.5 кВт при традиционном (10^{-3} см^{-1}) поглощении в магнитооптическом элементе из кристалла тербий-галлиевого граната ТГГ. Показана возможность создания криогенного изолятора Фарадея на лазерную мощность в десятки киловатт.

Авторы: Железнов Д.С., Мухин И.Б., Палашов О.В., Хазанов Е.А.

Аннотация. В лазерах с высокой средней мощностью одним из устройств, в которых излучение подвержено сильному тепловому самовоздействию, является изолятор Фарадея (ИФ), что связано с большим поглощением излучения ($\sim 10^{-3} \text{ см}^{-1}$) в магнитооптических элементах (МОЭ). Поэтому степень изоляции – важнейшая характеристика ИФ – большей частью определяется величиной термодеполяризации в МОЭ. Существует несколько подходов к проблеме уменьшения термодеполяризации. Предлагается новый способ – охлаждение вращателя Фарадея (ВФ) на постоянных магнитах до температуры жидкого азота [1...5]. Поскольку постоянная Верде парамагнетиков и величина магнитного поля увеличиваются при охлаждении ВФ, можно рассчитывать на укорочение МОЭ и, следовательно, на уменьшение тепловых эффектов. Разработанное устройство, представляющее собой ВФ на постоянных магнитах, размещенный внутри автоматизированной криогенной системы (АКС), получило название – криогенный изолятор Фарадея (КИФ) [5].

Уменьшение длины МОЭ позволяет перейти к дисковой геометрии. Экспериментально продемонстрировано уменьшение термодеполяризации в >30 раз при увеличении аспектного соотношения (отношение радиуса лазерного пучка к длине МОЭ) до ~ 4 [4]. Экспериментально измерено поведение термодеполяризации, термолинзы, постоянной Верде и магнитного поля при охлаждении ВФ до температуры жидкого азота в зависимости от используемой магнитоактивной среды и ферромагнитного сплава. Рассчитаны температурные зависимости термооптических постоянных (P/Q, \square) для традиционных магнитоактивных сред (кристалл ТГГ [1,2], стекло МОС-04 [3,4]). Экспериментально подтверждена возможность использования новых магнитоактивных сред – популярных гранатов YAG и GGG.

Разработана АКС, представляющая собой оптический криостат, в котором рабочая область охлаждается за счет поступления жидкого азота из сосуда Дьюара. Управление процессом охлаждения по заданному тренду осуществляется посредством оригинального программного кода. Реализован ряд модификаций АКС, позволивший разработать надежно работающее компактное устройство [5].

Экспериментально достигнута степень изоляции 32 дБ (21 дБ) при мощности тепловыделения 2.8 Вт (7 Вт), что соответствует лазерной мощности 3 кВт (7.5 кВт) при традиционном (10^{-3} см^{-1}) поглощении в МОЭ из ТГГ. Показана возможность создания КИФ на лазерную мощность в десятки киловатт.

Публикации

1. Д.С. Железнов, А.В. Войтович, И.Б. Мухин, О.В. Палашов, Е.А. Хазанов, "Значительное уменьшение термооптических искажений в изоляторах Фарадея при их охлаждении до 77К", Квантовая электроника, 2006, т. 36, №4, с. 383-388.
2. D.S. Zheleznov, A.V. Voitovich, I.B. Mukhin, O.V. Palashov, E.A. Khazanov, "Cryogenic Faraday isolator for high average power lasers," Photonic West. Solid state lasers XV: technology and devices., H.J. Hoffman and R.K. Shori, Ed., Proc. SPIE 6100, 2006, pp. 61000N.
3. D.S. Zheleznov, E.A. Khazanov, I.B. Mukhin, O.V. Palashov, A.V. Voytovich, "Faraday rotators with short magneto-optical elements for 50-kW laser power", IEEE Journal of Quantum Electronics, 2007, v. 43, №6, pp. 451-457.
4. D.S. Zheleznov, E.A. Khazanov, I.B. Mukhin, O.V. Palashov, "Drastic reduction of heat release in magneto-optical elements: new ways towards a 100 kW average power Faraday isolator," Laser Optics 2006: Solid State Lasers and Nonlinear Frequency Conversion, V.I. Ustyugov, Ed., Proc. SPIE 6610, 2007, pp. 66100F-1-66100F-10.
5. Железнов Д.С., Зеленогорский В.В., Катин Е.В., Мухин И.Б., Палашов О.В., Хазанов Е.А., "Криогенный изолятор Фарадея», Квантовая электроника, 2010, т. 40, №3, с. 276-281.

3.8. Развита метод флуоресцентной ультрамикроскопии на основе одномодового волоконно-оптического тракта для получения трехмерных изображений целых, предварительно просветленных, биологических объектов. В созданной экспериментальной установке достигнуто поперечное и продольное разрешение 5 и 9 мкм соответственно при поперечных размерах исследуемого объекта до 10 мм, и толщины до 4 мм. Полученные трехмерные изображения отдельных органов экспериментальных животных с использованием автофлуоресценции (сердце, легкие) и флуоресценции экзогенных маркеров (головной мозг) демонстрируют возможности метода для изучения структурных и функциональных особенностей строения биотканей в биологии развития, нейробиологии и экспериментальной медицине.

Авторы: А.Н. Морозов, И.В. Турчин, В.А. Каменский, И.И. Фикс (ИПФ РАН), А.А. Лазуткин, К.В. Анохин (ИНФ РАМН)

Аннотация. Оптические методы получения трехмерных (3D) изображений биологических объектов с микронным пространственным разрешением, необходимым для визуализации отдельных клеток, являются чрезвычайно востребованными в современной нейробиологии, биологии развития и экспериментальной медицине. Сегодня наиболее распространенным методом такого исследования является конфокальная лазерная сканирующая микроскопия (КЛСМ). Этот метод используется для получения трехмерных изображений биотканей с субклеточным разрешением на глубину до 200 – 300 мкм и с одномоментной областью визуализации от 0.1 до 0.5 мм. Однако, для понимания структурной и функциональной организации многих биологических объектов, органов и тканей требуется визуализация их клеточной структуры в масштабах, сопоставимых с размерами этих объектов и органов. Оптические методы, позволяющие производить подобную визуализацию крупных оптически прозрачных образцов на значительную глубину с клеточным разрешением, стали появляться только в последние годы. Разработка этих методов ведется по двум основным направлениям: оптическая проекционная томография (ОПТ) и светоплоскостная флуоресцентная микроскопия (lightsheet fluorescence microscopy, СПФМ). СПФМ в текущий момент является наиболее перспективным из этих двух направлений и активно развивается в нескольких модификациях: микроскопия с освещением в избирательной плоскости (selective plane

illumination microscopy), ультрамикроскопия, микроскопия с планарным освещением в фокальной плоскости (objective coupled planar illumination microscopy) и другие. Принципиальным отличием СПФМ от КЛСМ является то, что возбуждение флуоресценции происходит лишь в узком слое биоткани за счет использования специальных систем подсветки, а регистрация флуоресценции – в направлении, перпендикулярном плоскости подсветки. Это позволяет избежать попадания прямого лазерного излучения в приемный тракт системы и паразитного фона засветки вне области исследования. Даже при использовании объективов с небольшой числовой апертурой и большим рабочим расстоянием в таких методах достигается высокое разрешение на больших глубинах в оптически прозрачных образцах. В описанных в литературе установках формирование пучков подсветки происходит с использованием открытых систем, что накладывает определенные ограничения на их применение. Нами был разработан метод волоконно-оптической флуоресцентной микроскопии. С этой целью была создана компактная система транспортировки лазерного излучения от источника к объекту исследования на основе одномодового волоконно-оптического тракта. Для обеспечения высокого разрешения системы был сформирован тонкий лазерный пучок подсветки с шириной, соответствующей поперечному размеру исследуемого объекта. Ширина пучка составляла не менее 10 – 20 мкм при толщине от 6 до 25 мкм. Основные достоинства такого решения по сравнению с открытыми системами: высокое качество пучка подсветки в области исследования из-за близости пространственной моды излучения к гауссовой, невосприимчивость системы к внешним воздействиям (температура, вибрации, пыль), простота использования и перемещения. На его основе была создана экспериментальная установка для волоконно-оптической флуоресцентной микроскопии. С использованием данной установки получены оптические срезы и трехмерные изображения предварительно просветленных образцов биологических тканей (легких, сердца, перинатального мозга мышей и плодов мыши) с использованием иммуногистохимической окраски и автофлуоресценции. Продемонстрировано высокое разрешение метода (5 – 13 мкм) при больших размерах исследуемых объектов (до 10 мм). Глубина скалывания зависела от прозрачности образца и достигала 4 мм. Эти параметры существенно превосходят аналогичные, достигаемые в традиционной конфокальной микроскопии. Полученные результаты имеют большое значение для детального изучения структурных и функциональных особенностей строения органов и тканей в биологии развития, нейробиологии и экспериментальной медицине.

Публикации

1. А.Н. Морозов, И.В. Турчин, В.А. Каменский, И.И. Фикс, А.А. Лазуткин, Д.В. Безрядков, А.А. Иванова, Д.М. Топтунов, К.В. Анохин, "Волоконно-оптическая флуоресцентная микроскопия для исследования биологических объектов", Квант. электроника 40 (9), 842–846 (2010).
2. А. Морозов, И. Турчин, В. Каменский, К. Анохин, "Флуоресцентная ультрамикроскопия для исследования просветленных биологических тканей", Материалы V Съезда Российского фотобиологического общества. М.: НИИ-Природа, 2008, с. 230.
3. A. Morozov, I. Turchin, V. Kamensky, K. Anokhin "Fiber-optic based ultramicroscopy for biological tissue study", Russian-French-German Laser Symposium (RFGLS 2009), Technical Digest, Organized by Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Science, 17-22 may 2009, Nizhny Novgorod, Russia.
4. A.N. Morozov, I.V. Turchin, V.A. Kamensky, A.A. Lazutkin, D. Toptunov, O.I. Efimova, K.V. Anokhin "Fiber-optic based fluorescent ultramicroscopy", Proceedings of II International Symposium "Topical Problems of Biophotonics", 2009, p. 67.

3.9. Разработан, изготовлен и испытан унифицированный ряд эффективных широкоапертурных стержневых лазерных усилителей на неодимовом стекле, работающих с временем между импульсами 3 минуты, что на порядок меньше эффективного времени остывания активных элементов. Эффективность усилителей с активными элементами диаметром 60-100мм и длиной 330 мм в 2 раза больше, чем у аналогов. Для питания усилителей разработан компактный высоковольтный накопитель со схемой предионизации. Такие усилители необходимы для создания фемтосекундных лазерных установок мультипетаваттного уровня мощности, работающих в импульсно-периодическом режиме, например, для международного проекта “Extreme Light Infrastructure”.

Авторы: Кузьмин А.А., Шайкин А.А., Потёмкин А.К., Хазанов Е.А., Зеленогорский В.В., Мартьянов М.А., Копелович Е.А., Флат Ф.А., Кузнецов М.В., Журин К.А.

Аннотация. Лазерные установки среднего уровня мощности (300-500 Дж для импульсов длительностью 1 нс) востребованы для определённого круга задач, где необходимы сравнительно недорогие и компактные лазеры, например для накачки широкополосных параметрических усилителей чирпованных импульсов фемтосекундных установок петаваттного и мультипетаваттного уровня мощности. К ключевым компонентам таких лазеров можно отнести выходные усилительные каскады и систему накачки этих каскадов. От конструкции этих каскадов и накопителей к ним зависит стоимость создания и эксплуатации установок. Важным параметром также является частота, с которой работает установка. Это связано с тем, что во многих приложениях при использовании лазеров кроме высокой мощности требуется и наработка лазерного воздействия, которая определяется общим количеством лазерных импульсов. Характерные требования на частоту повторения импульсов вышеуказанного уровня мощности, для международного проекта ELI (Extreme Light Infrastructure) – вспышка за 1-5 минут. В современных установках на лазерном стекле, в которых достигается петаваттный уровень мощности, частота повторения импульсов не превышает 1 вспышки за 30 минут. Она ограничивается тепловыми искажениями, возникающими в выходных каскадах усилителя.

В настоящей работе, используя равномерную схему охлаждения активных элементов усилителей, удалось повысить частоту повторения вспышек до величины 1 вспышка за 3 минуты, что в 10 раз превышает частоту аналогов и вписывается в требования усилителей для проекта ELI. Дополнительно к этому осветитель этих усилителей унифицирован и позволяет работать с любыми активными элементами размерами Ø60-100X300 мм, что упрощает и удешевляет стоимость эксплуатации лазера.

При создании накопителя для наших усилителей реализована высоковольтная с предионизацией схема питания ламп накачки усилителей, в которой импульсные лампы соединяются последовательно в группы по 4 штуки. Это упростило схему накопителей и повысило его надёжность. Переход от традиционно диффузного отражателя к зеркальному повысил эффективность усилителей в два раза.

Публикации

1. A. Kuzmin, E. Khazanov, A. Shaykin. Thermally induced distortions of radiation in large-aperture laser amplifiers, Photonics Europe 2010, Brussels, Belgium
2. A. Kuzmin, E. Khazanov, A. Shaykin. Experimental study of thermally induced depolarization and phase distortions in large aperture Nd:glass amplifiers, Laser Optics 2010, St. Petersburg, Russia

3.10. Разработан новый аппаратно-программный комплекс для объективной оценки состояния нервно-мышечной системы человека по набору ее механических характеристик. Комплекс обеспечивает компьютерную регистрацию и обработку вибрационных сигналов, связанных с произвольными движениями конечностей, головы и центра масс тела человека (тремография), с произвольными тестовыми движениями конечностей (темпография), а также с вынужденными вибрационными движениями, задаваемыми внешним источником (миотонография). Комплекс позволяет определять наборы количественных амплитудно-частотных характеристик регистрируемых вибраций в разных тестах и формировать в электронном виде сводные протоколы исследований. Комплекс может быть использован в неврологии для диагностики и для мониторинга лечения, в том числе, в ходе испытания новых лекарственных препаратов и новых методов лечения.

Авторы: Тиманин Е.М., Еремин Е.В. (ИПФ РАН), Густов А.В., Устимкина М.А. (НижГМА)

Аннотация. Для объективной оценки функционального состояния нервно-мышечной системы (НМС) человека важную диагностическую информацию могут дать как электрические, так и механические проявления ее деятельности. В медицинской практике широкое распространение получило использование электрических проявлений – развиты различные электронейрографические и электромиографические методы. Однако, они не обеспечивают получение исчерпывающей информации и дополняются различными качественными тестами: для оценки амплитуды и скорости выполнения человеком различных произвольных движений, для оценки величины различных произвольных движений, для оценки степени напряжения (механического тонуса) мышц и др. Методы диагностики и контроля лечения, основанные на измерении объективных количественных характеристик механических процессов, распространены существенно реже, в основном, в научных исследованиях.

Разработанный аппаратно-программный комплекс предназначен для восполнения указанного пробела. В нем реализованы акселерометрические методы контроля произвольных движений (тремора) конечностей, головы и центра масс тела человека, методы контроля темпа произвольных тестовых движений и метод контроля механического мышечного тонуса посредством вдавливания колеблющегося индентора. Комплекс открыт для включения в него дополнительных методов, основанных на регистрации механических проявлений деятельности НМС человека, например, методов динамометрии и методов миотонометрии посредством задания вынужденных тестовых движений конечностей.

Во всех методах используется одноканальная или двухканальная компьютерная регистрация вибрационных сигналов, их обработка и определение набора количественных характеристик регистрируемых вибраций. Результаты вместе с данными пациента фиксируются в электронном виде в протоколе теста или в сводном протоколе по ряду тестов, а также могут передаваться в программы статистической обработки данных. При формировании сводного протокола обеспечивается автоматическое сопоставление с нормой по разным тестам. В методах тремографии определяются следующие параметры: суммарная мощность тремора в полосе частот 1 – 30 Гц ($(\text{см}/\text{с}^2)^2$); коэффициент асимметрии по мощности (%); доли мощности в полосах частот 1.1 – 8.0, 8.1 – 16.0, 16.1 – 30.0 Гц (%); частота выделенного пика (Гц); амплитуда выделенного пика ($\text{см}/\text{с}^2$). Все параметры, кроме коэффициента асимметрии, находятся для левой и правой конечностей или для движений головы “да-да” и “нет-нет”. В темпографических тестах (ходьба и движения кисти) определяется частота периодических движений. В методе “эластомиотонографии” определяются упругость (кПа) и вязкость (Па с) поверхностных мягких тканей в области их деформирования колеблющимся индентором.

На базе кафедры неврологии НижГМА под руководством профессора А.В. Густова в Нижегородской областной клинической больнице им. Н.А.Семашко проведено комплексное исследование тремора и параметров темпографических тестов у групп здоровых лиц 115 человек и 52 человека соответственно. По результатам сформированы нормы по каждому из тестов. Также проведены аналогичные исследования у группы неврологических больных (154 человека), включая 64 человека с болезнью Паркинсона, 21 человек с эссенциальным тремором, 16 человек с вегето-сосудистой дистонией, 10 человек с миастенией, 9 человек с рассеянным склерозом, 9 человек с дисциркуляторной энцефалопатией и др. Показано, что измерения средствами комплекса обеспечивают достоверное различие здоровых и больных и различных групп больных между собой. Таким образом, исследования НМС человека средствами комплекса “Механонейромиограф” могут обеспечить объективную оценку ее функционального состояния и могут служить основой для разработки клинических методов неврологической диагностики и мониторинга лечения.

Публикации

1. Timanin E.M., Eremin E.V., Gustov A.V., Ustimkina M.A. The computer-based tremor analyzer for clinic // Movement disorders. 2009. V.24, Suppl. 1. S519. (Доклад на 13 Международном конгрессе по болезни Паркинсона и расстройствам движений, Париж, 7-11 июня 2009г.)

2. Тиманин Е.М., Еремин Е.В., Густов А.В., Устимкина М.А. Новые возможности механонейромиографии // Фундаментальные науки – медицине. Тезисы докладов. Конференции и семинары по научным направлениям Программы в 2009 году. М.: Фирма «Слово», 2009. – С. 241-242.

3. Тиманин Е.М., Еремин Е.В., Густов А.В., Устимкина М.А. Компьютерный анализатор тремора // Биомеханика 2010: Тезисы докладов X Всероссийской конференции. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 2010. С.160-161.

4. Тиманин Е.М., Густов А.В., Устимкина М.А., Еремин Е.В., Макушина С.В. Компьютерный акселерометрический метод исследования тремора // III Евразийский конгресс по медицинской физике и инженерии “Медицинская физика - 2010” / Сборник материалов. Том 4. Москва, 2010. С.221-223.

5. Тиманин Е.М., Густов А.В., Устимкина М.А., Еремин Е.В., Макушина С.В. Количественные характеристики тремора при болезни Паркинсона // III Евразийский конгресс по медицинской физике и инженерии “Медицинская физика - 2010” / Сборник материалов. Том 4. Москва, 2010. С.213-216.

6. Густов А.В., Устимкина М.А., Макушина С.В., Тиманин Е.М., Еремин Е.В. Акселерометрический метод диагностики тремора при болезни Паркинсона // Медицинский альманах. 2010. № 2. С.31-32.

3.11. Проведен анализ спектров поглощения водяного пара в диапазоне 2500-5000 см⁻¹, зарегистрированных при температуре 650 К и ряде давлений от 5 до 130 атмосфер. Продемонстрировано, что наблюдаемые спектры могут быть интерпретированы как суперпозиция спектров молекул мономера, димера и тримера воды, находящихся в равновесном газовом состоянии. Показано, что даже при такой температуре большая часть димеров находится в связанных состояниях. Определена константа равновесия, соответствующая димерам в таких состояниях. Полученные результаты показывают, что значительная часть экспериментально наблюдаемого континуального поглощения в водяном паре обусловлена димерами воды, находящимися в связанных энергетических состояниях.

Авторы: Третьяков М.Ю., Макаров Д.С.

Аннотация. Физический механизм, приводящий к экспериментально наблюдаемому континуальному поглощению в водяном паре, до сих пор точно не установлен, несмотря на то, что он затрагивает не только проблемы распространения излучения в атмосфере, но и глобальные проблемы радиационного баланса Земли и ее климата. Гипотеза, объясняющая это поглощение димерами воды, несмотря на многочисленные попытки, не получила до настоящего времени экспериментального подтверждения. Одна из причин неудач в очень малой концентрации димеров в атмосферных условиях, и характерные спектральные особенности димера приходится искать на фоне мощного поглощения в регулярных спектральных линиях мономера.

Наиболее точный на сегодняшний день квантово-химический расчет спектра димера в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне [Y.Scribano, C.Leforestier, J.Chem.Phys. 2007], опирающийся на расчетное же значение константы равновесия димеров, подтвердил димерную гипотезу континуума. Однако, известно, что только при очень низких температурах большинство димеров находятся в связанных энергетических состояниях, а при ее повышении начинает расти доля димеров в метастабильных состояниях, в том числе в таких, когда молекулы мономера, составляющие димер, могут практически свободно вращаться друг около друга. Спектр димеров в таких состояниях мало чем отличается от спектра очень короткоживущего мономера. Не только такие метастабильные, но и вообще все состояния димера выше энергии диссоциации водородной связи ($\sim 1100 \text{ см}^{-1}$) не учитывались в упоминавшемся выше расчете спектра димера из-за неизвестных времен жизни. Тем самым подтверждение объяснения континуума связанными димерами ставится под сомнение.

Мы решили проанализировать спектры поглощения водяного пара в, находящегося в таких условиях, когда равновесная концентрация димеров в них заведомо высока. Это спектры, записанные при очень высоких давлениях, что достижимо при нагреве водяного пара выше критической температуры. Набор таких спектров, при давлениях от 5 до 130 атмосфер при 650 К был получен в работе [A. A. Vigasin, Y. Jin, S. Ikawa. Mol.Phys. 106, 2008, 1155–1159].

Для анализа спектров была разработана модель предполагающая, что ассоциация мономеров в водяном паре отвечает только за часть неидеальности уравнения состояния паров, и что водяной пар состоит из смеси неидеальных, но не ассоциирующих мономеров, димеров и тримеров, находящихся в связанных состояниях. При расчете поглощения в модели использовались экспериментальные данные о силах и положениях спектральных полос димера и тримера и учитывался эффект столкновительной связи линий мономера.

Выполненный анализ эволюции спектра поглощения и полученные значения константы равновесия димеров позволили сделать вывод, что даже при таких температурах большая часть димеров находится в связанных состояниях. При значительно более низких температурах, присущих атмосфере, эта часть димеров будет доминирующей и в соответствии с упоминавшимися расчетами, именно она и будет формировать наблюдаемый континуум.

Публикации

1. M.Yu. Tretyakov, D.S. Makarov, Some consequences of high temperature water vapor spectroscopy: water dimer at equilibrium. J. Chem. Phys. (направлена).

2. M.Yu. Tretyakov, A.F. Krupnov, D.S. Makarov, Some consequences of supercritical water spectroscopy: water dimer at equilibrium. Book of abstracts of the 21st International conference on high resolution molecular spectroscopy. Poznan, Poland, Sept. 7-11, 2010, p. 71. Rep. D3.

3. M.Yu. Tretyakov, A.F. Krupnov, Observation of water dimer spectrum at equilibrium: problems and perspectives. Abstracts of Workshop on "Molecular Complexes in our Atmosphere and Beyond", International Solvay Institutes, Brussels, Belgium, 20 - 23 April, 2010. <http://www.solvayinstitutes.be/Activities/ATMOS/Abstracts.html>.

3.12. Предложен механизм наблюдавшегося [Phys. Rev, A 81, 022706 (2010)] уменьшения параметра уширения терагерцовых линий молекулы воды давлением водорода при низких температурах. Механизм заключается в изменении состава возмущающего газа в ячейке за счет преимущественной адсорбции орто-водорода на стенках ячейки при низких температурах. Пара-водород имеет сечение соударений с молекулами воды на порядок меньшее, чем орто-водород. Обогащенный пара-водородом образец производит меньшее уширение спектральных линий воды.

Автор: Крупнов А.Ф.

Аннотация. Молекулы воды и водорода – одни из важнейших во Вселенной, и исследование их взаимодействия необходимо для обеспечения интерпретации космических измерений с помощью космического зонда “Гершель” и других аппаратов: определения содержания воды во Вселенной, изучения охлаждения межзвездных облаков при возбуждении молекул воды соударениями с молекулами водорода и последующего спонтанного излучения, интерпретации радиоастрономических наблюдений спектральных линий воды и т.д. Трудностью является конденсация в лабораторных исследованиях воды намного ранее интересующей области температур (10 – 50 К). Используется метод столкновительного охлаждения молекул воды. Первые и пока единственные экспериментальные исследования уширения линий воды давлением водорода в низкотемпературной области были проведены в лаборатории реактивного движения (JPL, USA) [Phys. Rev. A 81, 022706 (2010)]. Исследователи неожиданно обнаружили, что, начиная с температур газа 70-80 К и ниже, величины уширения у исследовавшихся ими шести терагерцовых линий воды, вместо ожидавшегося увеличения с охлаждением, резко уменьшаются. Исследователи JPL не смогли объяснить этого явления, но указали на его важные следствия для космоса: при низких температурах вода становится практически ненаблюдаемой в излучении, и ее расчетные концентрации во Вселенной должны быть сильно увеличены; вода перестает быть главным охладителем для плотных молекулярных облаков во Вселенной, так как резко падает вероятность ее возбуждения столкновениями с молекулами водорода. Сотрудникам ИПФ РАН удалось объяснить результаты измерений JPL селективной адсорбцией спиновых изомеров водорода на стенках измерительной ячейки, а именно большей адсорбцией орто водорода по сравнению с пара водородом при низких температурах. Сечение соударений орто водорода с молекулами воды на порядок больше, чем у пара водорода, и обогащение газа в ячейке пара водородом и приводит к наблюдающемуся уменьшению уширения линий воды водородом при низких температурах. Для получения количественных результатов необходим либо контроль орто/пара отношения водорода непосредственно в ячейке, либо эксперимент отдельно с орто и пара водородом.

Публикации

1. A.F. Krupnov, Phys. Rev A, v.82, 036703 (2010).

3.13. Предложен метод подавления мелкомасштабной самофокусировки излучения со средней интенсивностью несколько ТВт/см² в мощных фемтосекундных лазерных комплексах. Создана и экспериментально проверена теоретическая модель, позволяющая

рассчитать оптимальные условия такого подавления при интегралах распада превышающих единицу. Метод может быть использован для сокращения длительности интенсивных фемтосекундных импульсов и для преобразования их поляризации в циркулярную с помощью четвертьволновой пластинки.

Авторы: Миронов С.Ю., Гинзбург В.Н., Ложкарев В.В., Потемкин А.К., Хазанов Е.А., Яковлев И.В., Лучинин Г.А., Шайкин А.А., Сергеев А.М.

Аннотация. Одним из основных факторов, ограничивающих возможность использования проходных оптических элементов для лазерных пучков с интенсивностью несколько ТВт/см², является мелкомасштабная самофокусировка. В основе явления лежит кубическая поляризация среды, приводящая к развитию неустойчивости гармонических возмущений лазерного излучения. Неустойчивость плоских волн, в свою очередь, способствует филаментации излучения, генерации суперконтинуума, разрушению лазерного пучка и пробоем оптических элементов.

Разработана модель усиления гармонических возмущений (шума) лазерных пучков в процессе генерации излучения второй гармоники сверхсильным лазерным полем. В приближении плоских монохроматических волн получены квазиоптические линейаризованные уравнения для амплитуд полей гармонических возмущений. Установлено, что коэффициент усиления гармонических возмущений зависит от интенсивности входного сигнала, длины нелинейного элемента удвоителя частоты, направления распространения сильных волн, а также квадратичной и кубической нелинейности кристалла. Поскольку нелинейный элемент, используемый для удвоения частоты, является анизотропной средой, то существуют выделенные направления, в которых возмущения второй гармоники усиливаются эффективнее. Шум, распространяющийся в некритичной к синхронизму плоскости взаимодействия волн, усиливается сильнее гармонических возмущений, распространяющихся в критичной к синхронизму плоскости.

Установлено, что для излучения с интенсивностью несколько ТВт/см² наибольший коэффициент усиления реализуется для компонент, распространяющихся под углами в несколько десятков мрад к направлению сильных волн. Этот факт позволяет использовать свободное пространство для исключения хорошо усиливаемых возмущений из области сильного поля. Предложенный подход позволяет подавить развитие мелкомасштабной самофокусировки и избежать пробоя проходных оптических элементов. Теоретические расчеты нашли подтверждение в экспериментальных исследованиях по генерации второй гармоники сверхсильного лазерного поля. При значении В-интеграла равного 6 метод самофильтрации излучения можно использовать для уширения спектра импульсов и их последующей компрессии, а также создания циркулярной поляризации у сверхмощного лазерного излучения в четверть волновых пластинках.

Публикации

1. С.Ю. Миронов, В.Н. Гинзбург, В.В. Ложкарев, А.К. Потемкин, Е.А. Хазанов, "Влияние мелкомасштабной самофокусировки на генерацию второй гармоники сверхсильным лазерным полем", Квант. электроника, 2010, 40 (6), 503–508.
2. Sergey Yu. Mironov, Vladimir V. Lozhkarev, Vladislav N. Ginzburg, Ivan V. Yakovlev, Grigory Luchinin, Andrey Shaykin, Efim A. Khazanov, Alexey Babin, Eugeny Novikov, Sergey Fadeev, Alexander M. Sergeev, and Gerard A. Mourou, "Second-Harmonic Generation of Super Powerful Femtosecond Pulses Under Strong Influence of Cubic Nonlinearity", IEEE JSTQE, 2010
3. Sergey Mironov; Vladimir Lozhkarev; Vladislav Ginzburg; Ivan Yakovlev; Grigory Luchinin; Efim Khazanov; Alexander Sergeev; Gerard Mourou "Temporal intensity

3.14. Впервые для кристаллов групп симметрии 23 и $m\bar{3}$, к которой относятся полупрозрачные оксиды: Y_2O_3 , Sc_2O_3 и Lu_2O_3 – новые перспективные лазерные среды, рассчитана степень термонаведенной деполяризации при произвольной ориентации кристаллофизических осей. Для частных случаев сильного и слабого двулучепреломления (разность набегов фаз двух собственных поляризованных лучей много больше и много меньше 2π , соответственно) определены ориентации, в которых степень деполяризации минимальна. Специфическим свойством рассмотренных кристаллов является зависимость этих ориентаций от пьезооптического тензора. Определение оптимальных ориентаций кристаллов имеет принципиальное значение при изготовлении активных элементов для лазеров с большой средней мощностью.

Авторы: А. Г. Вяткин, Е. А. Хазанов

Аннотация. Паразитные тепловые эффекты являются одним из важнейших факторов, ограничивающих мощность твердотельных лазеров. Тепловыделение в оптических элементах приводит не только к росту средней по объему температуры, но и к возникновению температурных градиентов, которые, в свою очередь, вызывают появление упругих напряжений. Вследствие фотоупругого эффекта – зависимости тензора диэлектрической непроницаемости от тензора упругих напряжений – в изначально оптически изотропных кубических кристаллах появляется термонаведенная анизотропия, причем ее характер существенно зависит от ориентации кристалла, то есть от положения кристаллофизических осей в оптическом элементе.

В последние годы при построении субпикосекундных лазеров с высокой средней мощностью стали использоваться полупрозрачные оксидные кубические кристаллы Sc_2O_3 , Lu_2O_3 и Y_2O_3 . Они сравнимы с YAG по тепловым свойствам и в то же время имеют более широкую линию усиления, что позволяет получать субпикосекундные импульсы со средней мощностью до сотни ватт в режиме синхронизации мод. В непрерывном режиме получены мощности в несколько сотен ватт.

Кристаллическая решетка этих и ряда других полупрозрачных оксидов имеет группу симметрии $m\bar{3}$. Пьезооптический и упругооптический тензоры кристаллов с такой решеткой, равно как и кристаллов группы 23 , определяются четырьмя коэффициентами, а не тремя, как соответствующие тензоры кубических кристаллов групп симметрии 432 , $\bar{4}3m$ и $m\bar{3}m$ (например, всех гранатов, фторидов (BaF_2 , CaF_2) и др.).

Термонаведенная деполяризация в кристаллах с трехкомпонентным пьезооптическим тензором в настоящее время подробно изучена как теоретически, так и экспериментально. Нами теоретически исследована зависимость степени деполяризации в кубических кристаллах групп симметрии 23 и $m\bar{3}$ цилиндрической формы от их ориентации и радиусов пучка и области нагрева. Показано, что ориентации $[001]$ и $[011]$ теряют часть своих экстремальных свойств. Найдены ориентации, названные $[[A]]$ и $[[B]]$, зависящие от пьезооптического тензора кристаллов и наследующие эти свойства. Показано, что при определенных соотношениях между компонентами пьезооптического тензора в кубических кристаллах всех групп симметрии существует ориентация, названная $[[C]]$, в которой возможно полное устранение деполяризации. Выполнен численный поиск наилучших и наихудших ориентаций для случаев сильного и слабого двулучепреломления, показавший, что оптимальной является ориентация $[[C]]$, когда она существует, а иначе $[[A]]$, $[001]$ или $[[B]]$.

Публикации

1. A. G. Vyatkin, E. A. Khazanov, Thermally induced depolarization in sesquioxide class $m\bar{3}$ single crystals, отправлена в журнал JOSA B.

2. A. G. Vyatkin, E. A. Khazanov, "Thermally induced depolarization ratio in 23 and $m\bar{3}$ symmetry classes of cubic crystals", Abs. 17-th Int. Conf. on Advanced Laser Technologies, Antalya, Turkey, 2009, P. 23.

3. A. G. Vyatkin, E. A. Khazanov, "Thermally Induced Beam Distortions in Single Crystals and Ceramics made of Class $m\bar{3}$ Cubic Sesquioxides," Abs. Int. Conf. ICONO/LAT, Kazan', Russia, 2010, P. 106.

3.15. Показано, что физически значимые решения задачи о дискретном спектре молекулы можно выделить на фоне ее формальных решений только на основе понятия структуры молекулы, которое удается ввести в приближении Борна-Оппенгеймера. То есть, лишь с помощью данного приближения формализуется сама постановка такой задачи. При этом возникают связанные со свойствами симметрии динамики ограничения в определениях отдельных типов внутримолекулярных движений, нарушение которых приводит к физически некорректным следствиям.

Автор: Буренин А.В.

Аннотация. Наличие у молекулы вращательного спектра означает, что она представляет собой структуру, движения частиц которой являются коллективными. При этом надо учитывать, что структура характеризуется внутренней геометрической группой симметрии. Эта группа является неявной группой симметрии гамильтониана молекулы, записанного в декартовых координатах. Оказывается, что ввести в описание само понятие структуры молекулы удается только в приближении Борна-Оппенгеймера (БО). С его помощью делается переход от рассмотрения квантовой системы с неявной геометрической симметрией к ее модели для ограниченной области возбуждений (для одного электронного состояния) уже с явной такой симметрией и строится физически корректное конфигурационное пространство внутренних коллективных движений частиц молекулы. Именно данное пространство позволяет для стационарного уравнения Шредингера сформулировать условия, выделяющие физически значимые решения дискретного спектра на фоне очень большого числа формальных решений. Лишь тогда задача описания спектра внутримолекулярной динамики является поставленной и ее можно решать аналитическими или/и численными методами. Другими словами, приближение БО принципиально необходимо, чтобы формализовать саму постановку данной задачи. Поэтому распространенное мнение, что при достаточных вычислительных ресурсах дискретный спектр молекулы можно получить сугубо численными методами на основе гамильтониана в декартовых координатах является ошибочным. Поправки к приближению БО не нарушают основанную на нем постановку задачи. В то же время использование гамильтониана в декартовых координатах для атома оправдано, поскольку именно в пространстве декартовых координат отдельных частиц формулируются условия выделения его дискретного спектра. То есть, условия выделения для атома являются одночастичными, а для молекулы – многочастичными. Важно также, что появляются связанные со свойствами симметрии внутренней динамики молекулы ограничения в определениях отдельных типов ее коллективных движений, игнорирование которых приводит к физически некорректным следствиям.

Публикации

1. Буренин А.В. // Оптика и спектроскопия, 2009, т.107, с.709-715.

2. Буренин А.В. // УФН, 2010, т.180, с.745-757.

3.16. Впервые проведены квантовохимические расчеты из первых принципов колебательно-вращательного спектра молекулы воды выше первого порога диссоциации. Результаты расчетов качественно моделируют структуру экспериментального спектра тройного резонанса [M. Grechko, P. Maksyutenko, T. R. Rizzo, and O. V. Boyarkin, J. Chem. Phys. **133**, 081103 (2010)]. Продемонстрировано, что структура фотодиссоционного экспериментального спектра обусловлена несколькими механизмами: резонансами, связанными с формой поверхности потенциальной энергии (центробежными барьерами), резонансами Фешбаха, а также прямой фотодиссоциацией в континуум. Результаты важны для понимания процессов фотодиссоциации в атмосферах планет и в межзвездной среде.

Авторы: Зобов Н.Ф., Ширин С.В., Полянский О.Л. (ИПФ РАН), Tennyson J. (Университетский колледж Лондона, Великобритания).

Аннотация. Вода является одной из самых важных молекул во вселенной, участвуя в большом количестве фотохимических и фотофизических процессов на Земле и других планетах, на солнце, в атмосферах холодных звезд. Как одна из простейших многоатомных молекул вода является опытным объектом для разработки новых теоретических методов описания молекулярных спектров.

Большинство химических процессов заключается в соединении или разрушении молекул и образованием новых. Поэтому понимание того как ведут себя молекулы в районе энергии диссоциации особенно важно для исследования химических реакций. Фотодиссоциация молекулы воды хорошо изучена в химической физике. Однако в своей традиционной интерпретации этот процесс происходит исключительно через разрешенные переходы в возбужденные электронные состояния. В данной работе мы исследовали фотодиссоциацию в основном электронном состоянии исследуя структуру колебательно-вращательных состояний, лежащих в районе первого порога диссоциации $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{OH}$ ($41145.94 \pm 0.15 \text{ см}^{-1}$).

Исследование диссоциации исключительно сложная задача, как с экспериментальной, так и теоретической точки зрения. Даже простейшие многоатомные молекулы имеют множество связанных состояний с энергиями ниже порога диссоциации. Часть этих состояний продолжается выше диссоциации, где они имеют не нулевое время жизни, становясь квазисвязанными или резонансными состояниями. Эти состояния определяют динамику распада молекулы и контролируют низкотемпературные двух молекулярные реакции.

В рамках этой работы проведены квантово химические расчеты из первых принципов колебательно-вращательного спектра молекулы воды выше первого порога диссоциации. Часть нашего исследования моделирует экспериментальный спектр тройного резонанса [M. Grechko, P. Maksyutenko, T. R. Rizzo, and O. V. Boyarkin, J. Chem. Phys. v.133, 081103 (2010)], впервые демонстрирующего структуру фотодиссоционного спектра молекулы воды. Продемонстрировано, что структура экспериментального спектра обусловлена несколькими механизмами: резонансами, связанными с формой поверхности потенциальной энергии (центробежными барьерами), резонансами Фешбаха, а также прямой фотодиссоциацией в континуум.

Чтобы понять диссоционный спектр потребовалось провести сложные расчеты электронной структуры и ядерного движения. Различие между экспериментальной энергией диссоциации составило 38 см^{-1} (0.1 %). Расчеты ядерного движения проведены с использованием набора программ DVR3D [J. Tennyson, M. A. Kostin, P. Barletta, G. J. Harris, O. L. Polyansky, J. Ramanlal, and N. F. Zobov, Computer Phys. Comms. v.163, 85 (2004)]. Выше порога диссоциации эти расчеты были дополнены автоматической процедурой

нахождения резонансов, использующей комплексный поглощающий потенциал [U. V. Riss and H. D. Meyer, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **26**, 4503 (1993)]. В результате мы получили энергии квазисвязанных состояний, времена жизни и волновые функции.

Высокоточные глобальные поверхности потенциальной энергии (ППЭ), полученные из первых принципов, представляют ценный инструмент для понимания химических реакций, происходящих при низкой температуре и чувствительных к структуре резонансов и другим квантовым эффектам. Для полного понимания поведения молекул в районе диссоциации необходимо усовершенствование ППЭ. Оно будет проведено как за счет усложнения квантово химических расчетов так и с помощью оптимизации поверхности с использованием экспериментальных данных.

Публикации

1. N.F. Zobov, S.V. Shirin, L. Lodi, B.C. Silva, J. Tennyson, A.G. Csaszar, O.L. Polyansky, First-principles rotation-vibration spectrum of water above dissociation *J. Chem. Phys* (принята в печать).

2. A.G. Csaszar, E. Matyus, T. Szidarovszky, L. Lodi, N.F. Zobov, S.V. Shirin, O.L. Polyansky, J. Tennyson, First-principles prediction and partial characterization of the vibrational states of water up to dissociation, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **111**, 1043–1064 (2010).

3. M. Grechko, O.V. Boyarkin, T. R. Rizzo, N. F. Zobov, S. V. Shirin, J Tennyson, A. G. Császár and O. L. Polyansky, State-selective spectroscopy of water up to its first dissociation limit, *J. Chem. Phys*, **131**, 221105 (2009).

4. P. Maksyutenko, N.F. Zobov, S.V. Shirin, O.L. Polyansky, J.S. Muentner, T.R. Rizzo and O.V. Boyarkin, Approaching the full set of energy levels of water, 20th Colloquium on high resolution molecular spectroscopy, 3 – 7 September, 2007, Dijon, France, O30.

5. M. Grechko, P. Maksyutenko, T.R. Rizzo, O.L. Polyansky, N.F. Zobov, S.V. Shirin, L. Lodi, B. Silva, J. Tennyson, A.G. Csaszar and O.V. Boyarkin, Global water spectroscopy: ab initio analysis of experimental lines below and above the dissociation, The 20th international conference on high resolution molecular spectroscopy, 2 – 6 September, 2008, Prague, Czech Republic, J42, 236.

6. O.V. Boyarkin, M. Grechko, P. Maksyutenko, T.R. Rizzo, N.F. Zobov, S.V. Shirin, L. A.G. Csaszar, Lodi, B.C. Silva, J. Tennyson, A.G. Csaszar and O.L. Polyansky, Rovibrational spectroscopy of water up to and beyond its first dissociation limit, 21st Colloquium on high resolution molecular spectroscopy, August 31 – September 4, 2009, Castellamare di Stabia, Italy, N1, p. 303.

3.17. В рамках численного моделирования получен скачкообразный переход от двумерных структур к трехмерным, наблюдаемый на обтекаемой поверхности вязкоупругих покрытий в лабораторных экспериментах и на коже дельфина. Эффект получен при увеличении скорости потока для модели вязкоупругого покрытия в виде сильно демпфированной гибкой пластины, поддерживаемой распределенным пружинным основанием с нелинейной упругостью. Возмущения давления на поверхности пластины определены в приближении потенциального течения с точностью до членов второго порядка по малым уклонам. Показано, что возникновение трехмерных структур связано с конкуренцией и синхронизацией пространственных гармоник смещения поверхности.

Авторы: Реутов В.П., Рыбушкина Г.В. (ИПФ РАН)

Аннотация. Исследование генерации нелинейных волновых структур на поверхности твердотельных вязкоупругих покрытий, обтекаемых потоком несжимаемой жидкости, представляет интерес для различных приложений в биомеханике и технике. В линейной теории существуют два основных типа гидроупругих неустойчивостей –

флаттер бегущей волны и дивергенция. Оба наблюдались экспериментально при обтекании покрытий из резиноподобного материала в режиме турбулентного пограничного слоя. Квазистатическая неустойчивость (дивергенция) возникает на вязкоупругих покрытиях с большими потерями и характеризуется малой (по сравнению со скоростью внешнего потока) фазовой скоростью волн. Дивергентные волны большой амплитуды наблюдались на коже плывущих дельфина и человека. Переход к возбуждению дивергентных волн при увеличении потерь в покрытии подтвержден результатами линейной теории [Реутов В.П., Рыбушкина Г.В. *Phys. Fluids*, 1998].

Теория двумерных дивергентных волн большой амплитуды, развитая в наших предыдущих работах [ПМТФ, 2000; *Phys. Fluids*, 2008], позволила объяснить ряд качественных особенностей их генерации. В то же время в экспериментах с вязкоупругими покрытиями при увеличении надкритичности наблюдался быстрый (скачкообразный) переход к трехмерным волновым структурам большой амплитуды: сначала вдоль гребней двумерных волн появлялись малые неоднородности, которые затем быстро нарастали и превращались в трехмерные структуры сильно несинусоидальной формы.

В работе на основе численного моделирования получен скачкообразный переход от двумерных структур к трехмерным при возбуждении дивергентных волн на обтекаемых вязкоупругих покрытиях. Покрытие моделировалось гибкой пластиной, поддерживаемой распределенным пружинным основанием с нелинейной жесткостью. Параметры пластины определялись путем сопоставления волновых свойств модельного покрытия и твердотельного слоя из резиноподобного материала. Анализ проводился для периодических вдоль и поперек потока волновых структур. Для описания трехмерных изгибов поверхности использовались нелинейные уравнения теории Кармана для тонких пластин, в которых выделялись средние по периоду нормальные и касательные усилия, действующие на элементы пластины. Эволюционное уравнение для прогибов поверхности записывалось в приближении аномально больших потерь, подавляющих возбуждение собственных волн. Возмущения давления, вызванные изгибом поверхности пластины, определялись в приближении потенциального течения с точностью до членов второго порядка по малым уклонам поверхности, поскольку обтекание изгибов пластины с большими потерями является квазистационарным. Показано, что в рамках предложенной модели инкремент линейной неустойчивости локализован в ограниченной области на плоскости волновых чисел в окрестности критического волнового числа неустойчивости двумерных волн, а его максимальное значение монотонно убывает с ростом потерь.

Нелинейная система уравнений для отклонений поверхности пластины с учетом обратного воздействия потока решалась численно спектральным методом с использованием двумерного БПФ. Это позволило учесть конкуренцию пространственных гармоник и резонансные связи между ними. Период волн в направлении потока задавался в соответствии с результатами двумерной теории, описывающей эффекты отбора периода волн большой амплитуды [*Phys. Fluids*. 2008]. Показано, что при росте надкритичности на поверхности модельного покрытия сначала устанавливаются двумерные волны с солитонобразным профилем подъема поверхности, затем при незначительном изменении скорости потока происходит переход к трехмерным волновым структурам, локализованным в продольном и поперечном направлениях и имеющим (в пределах периода) характерную солитоноподобную форму по двум измерениям. Результаты вычислений качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными.

Таким образом, предложенная нелинейная модель системы «поток-покрытие» позволяет корректно учесть эффекты отбора установившихся форм прогиба поверхности, связанные с конкуренцией пространственных гармоник, а также эффекты синхронизации гармоник, определяющие солитоноподобную форму трехмерных структур.

Публикации

1. Rybushkina G.V., Reutov V.P. Generation of three-dimensional nonlinear waves on the compliant coatings under a potential flow. Proc. IV Intern. Conf. "Frontiers of Nonlinear Physics". Institute of Applied Physics RAS: Nizhny Novgorod, 2010, p.363-364.

3.18. Показана принципиальная возможность управления процессом роста монокристаллов группы KDP воздействием пространственно-неоднородного ультразвукового поля. Ускорение роста достигается за счет возбуждающихся акустических течений, разрушающих диффузионный слой у растущей поверхности кристалла. Достигнуто увеличение скорости роста в 2 – 2,5 раза по сравнению с ее значением, характерным для режима свободной конвекции. Это открывает перспективу создания нового поколения аппаратуры для скоростного выращивания монокристаллов – с изолированной химически стерильной ростовой зоной.

Авторы: Ершов В. П., Родченков В. И., Сергеев Д. А. (ИПФ РАН); Касьянов Д.А. (ТЕМАФИ).

Аннотация. Исследовалось влияние упругих полей на процессы роста и растворения солевых кристаллов. Для создания пространственной неоднородности поля при нормальном падении ультразвуковой волны на поверхность растущего кристалла применена фокусировка ультразвука. При сферической фокусировке ультразвука на поверхности, находящейся в фокальной плоскости излучателя, индуцируются пограничные течения с поперечным масштабом, равным длине акустической волны В этих условиях, в реальном эксперименте, возможна интенсификация роста грани кристалла размером порядка 10 мм². Ускорение роста достигается за счет акустических течений, разрушающих диффузионный их слой у растущей поверхности кристалла - пограничных микропотоков Шлихтинга и спутных Релеевских течений. Тем самым показана принципиальная возможность управляемого акустического воздействия на процесс скоростного роста монокристаллов.

Применение системы цилиндрической фокусировки ультразвука с перемещением фокальной линии позволило распространить интенсифицирующее воздействие ультразвука на растущие кристаллические поверхности с размером, представляющим уже практический интерес.

Достигнуто увеличение скорости роста в 2 – 2,5 раза по сравнению с ее значением, характерным для условий свободной конвекции, т.е. достигнут кинетический режим роста. Показана техническая возможность масштабирования процесса интенсифицирующего акустического воздействия. Это открывает перспективу создания нового поколения аппаратуры для скоростного выращивания монокристаллов – с изолированной химически стерильной ростовой зоной.

Публикации

1. В.П. Ершов, Д.А. Касьянов, В.И. Родченков, Д.А. Сергеев, Исследование процессов растворения и роста солевых монокристаллов в неоднородных акустических полях. I. Стоячая волна // Кристаллография, 2008, т. 53, № 1 с. 181- 186.

2. В.П. Ершов, Д.А. Касьянов, В.И. Родченков, Д.А. Сергеев, Исследование процессов растворения и роста солевых монокристаллов в неоднородных акустических полях. II. Сфокусированное акустическое поле // Кристаллография, 2008 т. 53, № 1 с. 187-193.

3. В.И. Родченков, Д.А. Сергеев, Исследование течений в жидкости, индуцированных сфокусированным ультразвуковым полем и их применение для воздействия на рост монокристаллов// ПМТФ, 2009, Т. 50, № 4, с. 11 - 17.

4. М. С. Дерябин, Д.А. Касьянов, В.И. Родченков, Д.А. Сергеев, Экспериментальное исследование акустических течений в сфокусированном ультразвуковом поле// ПМТФ, 2010, Т. 51, № 5, с. 52 - 58.

5. S.N. Gurbatov, M.S. Deryabin, D.A. Kasyanov, V.V. Kurin, V.I. Rodchenkov and D.A. Sergeev, The Influence of Nonuniform Acoustic Field on Small-Scale Processes at a Heterogeneous Boundary// Acoustical Physics, 2010, Vol. 56, No. 6, pp. 856 – 860.