

МОСКОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ: ЕЖЕГОДНИК 2002

Международный Учебно-Научный Лазерный Центр МГУ им. М.В.Ломоносова

Общие сведения

Международный учебно-научный лазерный центр МГУ (МЛЦ МГУ) был создан в 1989 г. по инициативе выдающегося ученого, профессора Московского университета С.А. Ахманова. Это одно из самых авторитетных междисциплинарных подразделений Московского университета, занимающееся организацией исследований на стыках лазерной физики и других естественных наук — биологии, химии, медицины, экологии, а также обучением и переподготовкой специалистов, уже имеющих высшее образование. Деятельность МЛЦ МГУ как бы перебрасывает мостик между фундаментальными исследованиями в области лазерной физики и нелинейной оптики и прикладными исследованиями с применениями лазерных методов в биологии, медицине, химии и в других науках.

Организационно и структурно МЛЦ МГУ является самостоятельным подразделением Московского университета, имеющим, согласно Уставу МГУ, права отдельного факультета или научно-исследовательского института. В своей деятельности МЛЦ МГУ широко использует международную кооперацию, привлекает иностранных ученых для проведения совместных научных исследований, чтения лекций, проведения семинаров. Осуществляется переподготовка и иностранных специалистов. В масштабах России МЛЦ МГУ координирует проведение крупных междисциплинарных научно-технических программ и проектов в области лазерной физики и нелинейной оптики. При этом МЛЦ МГУ сам является активным участником и соисполнителем многих программ, организатором крупных Международных конференций и школ.

Высшим руководящим органом МЛЦ МГУ является научно-методический Совет. Текущее руководство деятельностью центра осуществляется директоратом в лице директора центра и его заместителей по научной работе и международному сотрудничеству, учебной работе, финансовой деятельности и по административной работе.

Наука

В 2002 г. МЛЦ МГУ проводил научную работу по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики;
- Физические основы лазерных технологий;
- Лазерная химия, биофизика и биомедицина;
- Получение сверхсильных световых полей и их применение;
- Физика поверхности и наноструктур;
- Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации.

Велась работа над выполнением заданий в рамках государственных научно-технических программ “Методы комплексной диагностики наноструктур” и “Развитие новой элементной базы информационных технологий”, финансируемых напрямую Минпромнауки. Продолжалось финансирование по гранту ведущих научных школ — Школа Ахманова–Хохлова. Наряду с этим МЛЦ МГУ активно участвовал в ряде других НТП с финансированием через другие головные институты (см. раздел договоров в сводных таблицах). МЛЦ МГУ является исполнителем исследований по 37-и грантам Российского фонда фундаментальных исследований и 4-м грантам зарубежных фондов (INTAS, CRDF, DFG-РФФИ и VW-Stiftung).

С целью привлечения дополнительного финансирования в МЛЦ МГУ велись работы по контракту с Международным лазерным центром г. Братиславы (Словакия). Настоящая фаза работ характеризуется активным выполнением совместных исследовательских проектов в рамках контракта.

По результатам выполняемых в МЛЦ МГУ научных исследований было опубликовано 115 статей в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах, сделано 129 докладов на российских и международных конференциях. В эти исследования активно вовлекались студенты различных факультетов МГУ — они стали авторами и соавторами более чем 60 статей и докладов.

Ниже приведены основные научные достижения МЛЦ МГУ за 2002 г.

1. Фундаментальные проблемы лазерной физики и нелинейной оптики

Теоретически и экспериментально исследованы процессы когерентного четырехволнового взаимодействия лазерных импульсов в наполненных газом полых волноводах. Показана возможность создания полых фотонно-кристаллических волокон, обеспечивающих максимальное пропускание излучения с требуемой длиной волны. Созданы и испытаны волокна для передачи излучения с длинами волн 532, 633 и 800 нм.

Исследована модовая структура и спектральные свойства излучения суперконтинуума, генерируемого в микроструктурированном волокне фемтосекундными импульсами излучения титан-сапфирового лазера.

Продемонстрирована возможность использования многоимпульсного лазерного возбуждения для диагностики наноструктурированных материалов и обсуждена эффективность этого метода для исследования металлических наночастиц и тонких пленок.

Обнаружены размерные эффекты при генерации гигантской второй гармоники в связанных микрорезонаторах на основе фотонных кристаллов из пористого кремния.

Методом вырожденной четырехфотонной спектроскопии исследованы сплошные сверхтонкие (30–40 нм) пленки платины, нанесенные на подложки из стекла К8 методом лазерного напыления. Полученные результаты интерпретированы в рамках модели, учитывающей процессы насыщения межзонных электронных переходов.

Выращены кристаллы трибората лития и дигидроарсената цезия с различной степенью дейтерирования, выполнены эксперименты по влиянию температуры кристалла на групповую длину при генерации второй гармоники излучения фемтосекундного хром-форстеритового лазера и эксперименты по компенсации дисперсии активного элемента лазера с помощью кристалла трибората лития.

Измерены спектры шумовой компоненты излучения фемтосекундного хром-форстеритового лазера, проведено сравнение с аналогичными данными для титан-сапфирового лазера. Предложена новая схема лазерного доплеровского анемометра для диагностики реальных объектов, позволяющая существенно уменьшить шумы регистрации при измерении скорости объекта.

Выполнен цикл исследований по спектроскопии трех- и четырехволнового параметрического рассеяния света поляронных и поляритонных состояний в образцах кристаллов $\text{LiNbO}_3:\text{Mg}$ с различной концентрацией легирующей примеси Mg в диапазоне 0–7,1 мол.% до и после химического редуцирования.

Развита теория внутриволноводных последовательных квазисинхронных волновых взаимодействий в активно-нелинейной среде с регулярной доменной структурой (РДС). Исследованы последовательные квазисинхронные процессы в активно-нелинейном $\text{Nd}:\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ кристалле с РДС. Усовершенствована технология роста нелинейных и активно-нелинейных (активированных ионами Nd) кристаллов ниобата лития с РДС. Для активно-нелинейных сред с РДС получены рекордные значения мощности генерации второй гармоники.

Экспериментально и теоретически изучено нелинейное взаимодействие световых пучков в пленках азосодержащих полимеров с пространственно-неоднородной структурой. Экспериментально продемонстрирована оптическая реверсивность азосодержащих соединений.

Исследовано самовоздействие однородно эллиптически поляризованного пучка гауссова профиля в среде с нелокальностью нелинейно-оптического отклика, приводящее к резкому изменению поляризации светового поля в плоскости поперечного сечения.

2. Физические основы лазерных технологий

В отчетный период МЛЦ МГУ продолжал работы по международному контракту на создание в Международном лазерном центре Братиславы комплекса научного, научно-технологического и учебного оборудования. В рамках контракта выполнены совместные проекты в области науки и образования. Начат цикл работ по подготовке мультимедийных спецкурсов по лазерной физике и применениям лазеров. В процессе создания находится библиотека научной литературы совместного доступа для МГУ и МЛЦБ.

Разработан опытный образец лазерного оптико-акустического томографа для ранней диагностики рака груди. Исследованы возможности применения лазерного возбуждения ультразвукового импульса для диагностики геометрических параметров механизмов.

3. Лазерная химия, биофизика и биомедицина

Исследованы возможности лазерной дилатации энантиомеров из рацемической сме-

си (паров) молекул перекиси водорода и ее изотопомера HOOD. Предложен новый метод лазерной дистилляции, основанный на когерентном управлении ротационно-торсионными состояниями молекулы.

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света исследована динамика белка лизоцима в процессе агрегации.

Экспериментально и теоретически исследованы новые быстрые Нелинейные алгоритмы для задач линейной диффузионной оптической томографии протяженных сильно рассеивающих объектов.

Методами лазерной флуоресцентной спектроскопии и спектроскопии КР изучены спектральные свойства фоксингов — одним из наиболее распространенных видов повреждения старинных рисунков, гравюр, рукописей, книг, архивных документов и хлопчатобумажных тканей.

4. Получение сверхсильных световых полей и их преобразование

Экспериментально исследованы параметры высокотемпературной плазмы, зажигаемой на поверхности твердотельной мишени фемтосекундными лазерными импульсами с интенсивностью более 10^{16} Вт/см², получена генерация высокоэнергетических ($E > 30$ кэВ) как положительных, так и отрицательных ионов. Исследованы режимы микроканализации в процессе самовоздействия фемтосекундного лазерного излучения с интенсивностью 10^{13} Вт/см² в прозрачных твердотельных средах, определены условия возникновения этого режима. Создан детектор гамма-квантов с энергией до 20 кэВ, позволяющий регистрировать гамма-распад низкоэнергетических ядерных состояний, возбуждаемых в фемтосекундной лазерной плазме. Впервые проведено прямое измерение энергетического спектра горячих электронов фемтосекундной лазерной плазмы и развита экспериментальная схема для регистрации конверсионных электронов, возникающих в результате конверсионного распада низкоэнергетических ядерных состояний, возбуждаемых в фемтосекундной лазерной плазме. В численном эксперименте исследован процесс распада низкоэнергетических ядерных уровней через внутреннюю электронную конверсию с учетом динамики параметров плазмы. Для ряда изотопов определены параметры лазерного импульса, при которых возможно экспериментальное наблюдение эффекта подавления внутренней конверсии.

Изучено образования филаментов при распространении импульса в среде со случайными флуктуациями показателя преломления.

Исследованы статистические характеристики пучка филаментов в зависимости от параметров атмосферной турбулентности и мощности фемтосекундного лазерного импульса.

5. Физика поверхности и наноструктур

Разработана методика сканирующей туннельной спектроскопии (СТС) высокого разрешения, позволяющая изучать индивидуальные атомные примесные состояния в полупроводниковых кристаллах. Показано, что при исследованиях методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) на электронную структуру поверхности влияют индивидуальные примеси, расположенные на глубине до 5 слоев, причем высота СТМ изображения атома логарифмически зависит от глубины его залегания. Разработана экспериментальная методика идентификации изолированных атомных примесей в поверхностных слоях полупроводника с учетом различных эффектов взаимодействия методами СТМ/СТС.

Традиционные методы анализа поверхности (дифракция медленных электронов и электронная Оже спектроскопия) совмещены с методами сканирующей зондовой микроскопии.

Экспериментально реализован сканирующий оптический микроскоп ближнего поля и разработана регистрирующая система с фемтосекундной накачкой, работающая в режиме счета фотонов и предназначенная для регистрации слабого излучения от ограниченного числа молекул, находящихся в нанополостях и наноструктурах.

Разработаны теоретические основы и экспериментальные методики построения изображений, определения формы, размера, положения и состава объектов и структур объектов микронных и субмикронных размеров на основе нелинейно-оптического взаимодействия.

Исследовано возбуждение поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) на металлической решётке в симметричном случае. Показано, что при отражении интенсивного лазерного излучения от поверхности металла происходит генерация второй оптической гармоники, эффективность генерации которой при возбуждении ПЭВ возрастает на 2–6 порядков. Экспериментально исследовано нелинейное взаимодействие независимых ПЭВ, рассмотрен процесс четырёхволнового смешения.

Проведен анализ механизмов рекомбинации носителей и экситонов в квантовых нитях CdS и CdSe с диэлектрическим барьером.

Обнаружена корреляция между концентрационной зависимостью коэффициента гигант-

ского магнитосопротивления и магнитного Контраста магнитоиндуцированной второй гармоники в магнитных гранулярных пленках Co-Ag и CoFe-Al₂O₃.

6. Квантовые компьютеры и обработка квантовой информации

Новая мера квантовой информации — совместимая информация — была использована для детального анализа процессов обмена квантовой информацией атомами через поле излучения. Показано, что специальный тип совместимой информации — неселективная информация — может быть эффективно использована для создания нового криптографического квантового протокола с континуальным алфавитом, который превосходит по эффективности все предложенные ранее.

Развита супероператорная техника математического описания процессов измерения в открытой системе объект–индикатор–резервуар. С ее помощью математически конкретизировано понятие стандартного квантового измерения. Введено понятие перепутывающего измерения, при котором информация об измеряемой системе возникает в форме квантовой перепутанности в системе объект–индикатор.

Разработана теория преобразования когерентных световых состояний при последовательных нелинейно-оптических взаимодействиях. Исследованы квантовые свойства света, генерируемого при трехчастотных волновых взаимодействиях (самоудвоении и самоделинии частоты пополам) в активно-нелинейном кристалле Nd:Mg:LiNbO₃ с РДС и разработана теория формирования перепутанных квантовых состояний при последовательных взаимодействиях в нелинейном кристалле с РДС.

Создан квантовый поляризационный бифотонный томограф, позволяющий измерять произвольное поляризационное состояние одномодового света в четвертом порядке по полю.

Учебная работа

Основная часть учебной работы МЛЦ МГУ в 2002 г. была связана с программами переподготовки кадров и повышения квалификации. По программе переподготовки кадров "Лазерная физика и технология" объемом 1048 часов в 2002 г. обучалось 15 человек. В этом году была открыта новая программа переподготовки кадров "Нелинейная оптика и лазерная оптоакустика", объемом 968 часов, по которой обучалось 6 человек. По языковой программе лаборатории лингвострановедения, рассчитанной на сотрудников, аспирантов и

студентов старших курсов МГУ, в 2002 г. обучалось 29 человек.

Конференции

МЛЦ МГУ организовал и был соорганизатором шести международных школ и конференций в 2002 г. Среди них следует особо отметить крупнейшую в мире Международную конференцию по квантовой электронике (IQEC/LAT-2002) основным организатором которой является совместно с Российской Академией Наук МЛЦ МГУ.

В рамках конференции IQEC/LAT-2002 в период с 27 июня по 30 июня 2001 года Международным учебно-научным лазерным центром МГУ совместно с Российским центром лазерной физики (Санкт-Петербургский государственный университет) проведена конференция молодых ученых IQEC/LAT-YS. На конференции было представлено 11 лекций ведущих специалистов в области нелинейной и когерентной оптики из России, США, Германии, Италии и Швейцарии. Молодые слушатели конференции, число которых было около 100, представили свои работы в форме стендовых докладов. Десять студентов по итогам работы международного жюри были награждены специальными дипломами конференции IQEC/LAT-2002.

В октябре 2002 г. МЛЦ МГУ совместно с Санкт-Петербургским институтом точной механики и оптики организовали и провели Научную молодежную школу Оптика-2002. Программы школы включала устные обзорные доклады приглашенных лекторов и стендовые доклады молодых участников школы. Школа проходила в г. Санкт-Петербурге и с помощью МЛЦ МГУ удалось организовать поездку на нее группы студентов и аспирантов физического факультета МГУ в количестве 13 человек.

В рамках 5-ой международной специализированной выставки LIC Russia - Лазеры: инновации и консалтинг в России, которая состоялась в Москве с 2 по 5 июля 2002 г., МЛЦ МГУ совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана провели семинар - круглый стол "Подготовка кадров для создателей и пользователей лазерной техники". На семинаре были обсуждены состояние де-факто и перспективы развития системы обучения, подготовки и переподготовки кадров для разработчиков и пользователей современной лазерной техники.

Перечень конференций и школ включает:

- 2nd Italian-Russian Symposium Nonlinear processes in laboratory and astrophysical plasmas, Moscow, Russia, June 18-22, 2002.

- 16th International Symposium on Nonlinear Acoustics, Moscow, Russia, August 19-23, 2002.
- XVII International Quantum Electronics Conference/Lasers, Applications and Technologies (IQEC/LAT 2002), Moscow, Russia, June 22-27, 2002.
- Международная конференция молодых ученых IQEC/LAT-YS, Москва, Россия, 27-30 июня 2002 г.
- Вторая конференция «Фундаментальные проблемы оптики», Санкт-Петербург, Россия, 14-17 октября 2002 г.
- Молодежную школу Оптика-2002, октябрь 2002 г. (Санкт Петербург, Россия).

Международное сотрудничество

Международная, межвузовская и межкаультетская деятельность МЛЦ МГУ направлена главным образом на координацию крупных программ и проектов, преимущественно междисциплинарного характера в области лазерной физики, химии, биологии, медицины и лазерных технологий когерентной и нелинейной оптики и их приложений.

В 2000 г. велись работы по международному контракту с Международным лазерным центром г. Братислава (МЛЦБ, Словацкая Республика) на разработку, создание и поставку в МЛЦБ комплекса научного оборудования, направленный как на создание в Братиславе уникального современного исследовательского центра для решения задач лазерной физики, химии, биологии, медицины и технологий, так и на совместные научные проекты в перечисленных областях.

В 2002 г. МЛЦ МГУ состоял коллективным членом российского отделения SPIE - The International Society for Optical Engineering и Лазерной Ассоциации. Кроме того, в 2002 г. в МЛЦ МГУ создано студенческое отделение SPIE.

Адрес страницы в интернете: <http://www.ilc.msu.su>