

Введение

Решением Президиума АН СССР в 1979 г. был учрежден Научно-исследовательский Центр по технологическим лазерам. Идея создания Центра принадлежит академику Е.П. Велихову. Центр являлся головной организацией МНТК “Технологические лазеры”, до 1991 года серийно выпускавшей промышленное лазерное технологическое оборудование для обработки материалов. В 1998 году Центр был переименован в **Институт проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ РАН)**.

ИПЛИТ разрабатывает фундаментальные и прикладные проблемы создания лазерных и информационных технологий. Он является одним из ведущих отечественных институтов по разработке мощных технологических СО₂-лазеров, а также технологий и оборудования на их основе.

Институт расположен в г. Шатуре и имеет отделение в г. Троицке Московской области. Штат института - 350 сотрудников.

Институт поддерживает тесные научные связи и ведет совместные работы с ведущими университетами, исследовательскими центрами и фирмами России, Украины, Белоруссии, США, Японии, Германии, Великобритании, Польши, Болгарии, Греции, Италии, Индии, Китая.

Основные направления деятельности института

Лазерно-информационные технологии

— формирование субмикроструктур, создание базовых элементов оптоэлектроники и оптических информационных систем;

— методы и интеллектуальные лазерные системы синтеза трехмерных объектов сложной топологии по компьютерным моделям и томографическим данным, включая системы лазерной стереолитографии;

— методы и системы адаптивной оптики для обработки информации и управления технологическими процессами обработки материалов;

— метод локальной модификации нано-пористых и полимерных материалов, основанный на сверхкритической импрегнации.

Применение лазеров в биомедицине

— лазерно-информационные технологии дистанционного биомоделирования трехмерных объектов;

— лазерные системы для трансмиокардиальной реваскуляризации миокарда;

— гипертермия хрящевых тканей;

— реконструктивная биотехнология для онкологии;

— лазерные, оптоакустические и оптические приборы медицинской диагностики;

— синтез новых минерал-полимерных композитов для имплантологии и тканевой инженерии;

— оптико-информационные методы исследования биообъектов .

Технологические лазеры, лазерно-компьютерные системы и технологии обработки материалов

— разработка и производство технологических СО₂-лазеров мощностью 0,5-15 кВт с высоким оптическим качеством излучения;

— технологии лазерной обработки материалов и компьютеризированные лазерные технологические комплексы с системами адаптивного управления для резки, сварки, поверхностной модификации;

— создание и выпуск лазерных оптоэлектронных систем неразрушающей диагностики подповерхностных структур материалов.

Наиболее важные результаты исследований института

1. Лазерно-информационные технологии

1) Проведен цикл фундаментальных исследований и разработок **лазерно-информационных технологий формирования субмикронных структур, создания новых элементов оптоэлектроники и базовых элементов для оптических информационных систем:**

— Выполнены разработки теории и технологии процессов создания субмикронных структур на поверхности полупроводников, металлов и диэлектриков. С этой целью была разработана аналитическая теория, на основе которой создана безмасочная мультипучковая технология формирования субмикронного (0,23 мкм) рельефа на поверхности полупроводников. В рамках этой теории рассмотрена дифракция плоских электромагнитных волн, ограниченных световых пучков и сверхкоротких световых импульсов на поверхностном рельефе, представляющем собой суперпозицию произвольного числа произвольно ориентированных дискретных решеток. Теория справедлива в условиях резонансного возбуждения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ) как на металлах, так и на диэлектриках, является нелинейной по амплитуде модуляции поверхностного рельефа и учитывает сильные многократные перераспределения между различными порядками дифракции. Выявлены оптимальные условия для проявления аномалий Вуда — эффектов полного подавления зеркального отражения, аномально высокого (почти 100 %-ного) поглощения света поверхностью и резкого (≈ 20 -ти кратного) возрастания амплитуды поля вблизи поверхности.

— Создана теория образования поверхностного периодического рельефа (с периодом порядка длины волны λ падающего излучения) на металлах, полупроводниках, диэлектриках под действием одного мощного ($> 10^6$ - 10^8 Вт/см²) лазерного пучка (а) при вынужденной генерации резонансных ПЭВ и поверхностных акустических волн в твердых телах в режиме до плавления; (б) при вынужденной генерации резонансных ПЭВ, поверхностных капиллярных волн и волн испарения в расплавах. Развита теория лазерно-индуцированной генерации поверх-

ностного периодического микрорельефа при пиролитическом травлении и осаждении металлов, полупроводников, диэлектриков и фотохимическом травлении полупроводников под действием излучения непрерывного лазера с мощностью порядка или меньше 1 Вт.

— С целью разработки технологии лазерного напыления субмикронных и нанометровых пленок методом лазерно-индуцированной люминесценции были экспериментально найдены функции распределения атомов и ионов по скоростям в факеле, возникающем при абляции твердой мишени под действием наносекундных лазерных импульсов. Показано, что на больших расстояниях от мишени (более 40 мм) при плотности энергии аблирующего лазерного излучения $F=1 - 2$ Дж/см² в ионизированном состоянии находится 1 - 3 % общего количества частиц, а для функции распределения атомов по скоростям характерно бимодальная структура, то есть часть частиц имеет относительно низкую скорость ($(2 - 3) \cdot 10^5$ см/с), а вторая часть более высокую ($(5 - 6) \cdot 10^5$ см/с). Количество высокоэнергетичных частиц растет с увеличением F и при $F=5$ Дж/см² может достигать 40% общего количества частиц. При расширении факела в буферный газ влияние процесса ускорения ионов уменьшается и при плотности буферного газа около 0,1 Торр функция распределения частиц по скоростям отличается от максвелловской не более чем на 10 %. С помощью напыления пленок на вращающийся диск было исследовано распределение микрочастиц по скоростям. Было показано, что при лазерной абляции наносекундными импульсами для любых мишеней скорости разлета микрочастиц (капель) на порядок меньше, чем скорости разлета атомов, или ионов. По форме скоростных функций распределения, а также по распределению функций распределения по размерам, можно сделать заключение, что механизм образования капель определяется материалом мишени. Предложен механизм сепарации микрочастиц и создано устройство (сепаратор), позволяющее напылять пленки свободные от микрочастиц.

— В результате этих исследований были разработаны технологии лазерного напыления тонких

пленок из следующих материалов: ВТСП пленки, GaAs, InGaAs, PbTe, Bi, ZrO₂, SrTiO₃, ZnO и алмазоподобные пленки. На сверхтонких пленках PbTe было показано влияние размерного квантования на нелинейную оптическую восприимчивость третьего порядка, в сверхтонких пленках висмута экспериментально наблюдалось размерное квантование проводимости и квантовый эффект Холла. Технология напыления ВТСП пленок, алмазоподобных пленок используются в настоящее время для изготовления ВТСП СКВИД'ов (совместно с МГУ им. М.В.Ломоносова). Разработаны технологические лазерные напылительные установки (многоцелевые и для напыления оксидов). Установки выдержали международный тендер, две установки были поставлены в Словакию, где успешно эксплуатируются в течение двух лет.

— С целью создания частотно-селективных элементов оптических мультиплексоров/демультиплексоров было проведено теоретическое моделирование распространения электромагнитных волн в неоднородных почти периодических средах с фазовыми сдвигами для различных материалов, в том числе полупроводники (показатель преломления 1,8 – 3,5), стекла (показатель преломления 1,53) и полимеры (показатель преломления 1,47 – 1,56). Показано, что такие структуры обладают высокими частотно-селективными свойствами и могут быть использованы для создания пассивных избирательных устройств волоконных сетей связи. Также теоретически были исследованы особенности распространения пикосекундных световых импульсов в периодических средах с изменяющимися в пространстве параметрами. В результате была разработана конструкция узкополосного оптического фильтра, имеющего близкую к прямоугольной форму полосы отражения/пропускания, созданы узкополосные отражающие фильтры для телекоммуникационного диапазона длин волн 1,5 мкм, включающие одномодовое кварцевое волокно с боковой полировкой и периодическую рельефную Брэгговскую решетку, расположенную в области распространения моды волокна. Фильтры имеют коэффициент отражения $R > 98\%$ и близкую к прямоугольной форму полосы отражения шириной 0,4 – 0,8 нм. Эти фильтры могут быть использованы в качестве частотно-селективных элементов оптических мультиплексоров/демультиплексоров для объединения и разделения сигналов в высокоскоростных многоканальных волоконно-оптических линиях связи.

Следующий важный результат института в области лазерно-информационных технологий приведен в "Отчете о деятельности РАН в 2003 году":

Разработаны тонкопленочные лазеры с распределенной обратной связью. Изготовлен брэгговский резонатор с решеткой первого порядка на гетероструктурах InP/InGaAs и GaAs/GaAlAs. Собран и протестирован одночастотный лазер, излучающий в диапазоне 1,5 мкм. (ИПЛИТ РАН)

2) Разработана концепция **лазерно-информационных технологий дистанционного создания трехмерных объектов и биомоделирования.**

С этой целью были созданы физико-химические и информационные основы лазерной стереолитографии как технологии оперативного изготовления вещественных копий трехмерных компьютерных моделей. Были созданы новые материалы, программное обеспечение и оборудование, необходимые для реализации этой технологии, организовано малосерийное производство установок для лазерной стереолитографии и расходных материалов для них, продемонстрирована высокая эффективность использования стереолитографии для моделирования и изготовления элементов машиностроительных и аэрокосмических конструкций, оснастки для разных видов прецизионного литья, штампов и пресс-форм.

В области лазерной компьютерной стереолитографии микронного разрешения были получены приоритетные результаты. С этой целью выполнено экспериментальное и теоретическое исследование фотоиницированной импульсным и непрерывным лазерным излучением полимеризации акриловых мономеров и олигомеров и композитов на их основе. Эти исследования позволили разработать эффективные методы расчета молекулярно-массовых распределений при инициировании полимеризации произвольной последовательностью лазерных импульсов и создана соответствующая программа, которые позволяют определять кинетические константы радикальной полимеризации по экспериментально полученным распределениям. Фотоиницированная лазерным излучением полимеризация была локализована в пространстве с объемом менее 10 мкм³. В результате была изготовлена трехмерная структура с минимальным линейным размером элемента равным 2,5 мкм.

В настоящее время в институте ведется разработка технологии **фемтосекундной наностереолитографии**, которая, по оценкам, позволит изготавливать трехмерные объекты с разрешением в несколько десятков нм.

Недавно была создана установка и разработана **технология выращивания трехмерных объектов непосредственно из рабочего материала** (металл, керамика, биосовместимые композиции) путем послойного спекания порошков.

3) Разработаны принципы **адаптивной коррекции излучения высокоомощных промышленных лазеров и лазеров, применяемых в фундаментальных исследованиях**. На основе разработанных корректоров волнового фронта биморфного типа, датчика волнового фронта Шак-Гартмановского типа и оригинального программного обеспечения для управления была создана адаптивная оптическая система, позволяющая корректировать аберрации волнового фронта до 6-го порядка. Основные параметры адаптивной системы: входная апертура до 100 мм; диапазон коррекции до 15 мкм; точность коррекции 1/10; частота корректируемых аберраций 12,5 Гц. Применение такой системы в титан:сапфировом лазере АТЛАС, Германия (импульсы с энергией 1,5 Дж, длительностью 130 фс и частотой повторения 10 Гц) позволило повысить фактор Штреля излучения с 0,1 до 0,8 и получить плотность интенсивности в фокусе параболического зеркала $4 \cdot 10^{19}$ Вт/см². При облучении поверхности дейтериевой мишени это привело к увеличению нейтронного выхода за импульс излучения в тысячу раз.

4) Разработан новый подход к **локальной модификации нано-пористых и полимерных материалов, основанный на сверхкритической импрегнации органических соединений и нелинейном УФ фотолизе импрегнированных соединений**. Разработан и создан оптоволоконный денситометр фазового контроля фазового поведения многокомпонентных сверхкритических сред.

5) В интересах разработки оптимальных методов управления процессами в твердом теле с помощью внешних потоков энергии, включая лазерное излучение, а также для прогнозирования поведения материалов, эксплуатируемых в экстремальных условиях выполнено исследование **процессов пространственной и временной самоорганизации нанокластеров и нанодфектов и локализованных структур в конденсированных средах**.

В данном цикле исследований проведено моделирование процессов самоорганизации нанодфектов и наночастиц, и найдены механизмы и условия возбуждения локализованных состояний (солитонов и волн переключения концентрации) в подсистеме точечных дфектов.

В результате раскрыт физический механизм и разработана аналитическая модель формирования наноскопических (нанометровых) пространственно-периодических структур нанодфектов в облучаемых твердых телах, как процесса самоорганизации открытой диссипативной системы в условиях, далеких от термодинамического равновесия. Установлено, что основной причиной самоупорядочения нанодфек-

тов является нелинейное динамическое взаимодействие нанодфектов с точечными дфектами и их диффузионная подвижность.

2. Лазеры в биомедицине

Проведен широкий цикл исследований и разработок нового поколения интеллектуальных лазерных медицинских систем и технологий для наиболее социально значимых разделов медицины (кардио и нейрохирургия, онкология).

1) В рамках концепции лазерно-информационных технологий дистанционного создания трехмерных объектов и биомоделирования разработана и реализована уникальная технология создания копий фрагментов человеческого скелета, индивидуальных моделей имплантов и оснастки для их изготовления методом компьютерной лазерной стереолитографии по входным данным, полученным с рентгеновских и ЯМР томографов, передаваемых из различных клиник по сетям Интернет. Разработанная технология уже реализована для изготовления имплантов и планирования операций в области челюстно-лицевой хирургии, нейрохирургии и онкологии для более чем 200 пациентов в 10 клиниках России.

2) На основе разработанного подхода к локальной модификации нано-пористых и полимерных материалов были разработаны основы создания трехмерных матриц биополимеров методами лазерного спекания и сверхкритической обработки.

3). Были исследованы процессы лазерной перфорации различных биотканей и кровенаполненных органов на базе специально созданного мощного (1 кВт) волноводного СО₂-лазера. На основе этих исследований создана и внедрена в клиническую практику интеллектуальная лазерная медицинская система “Перфофор” для проведения операций на сердце по процедуре трансмиокардиальной лазерной реваскуляризации. Система не имеет аналогов в России и Европе. Проведено более 350 успешных операций за период 1997-2004 г.г. Система сертифицирована Минздравом России.

4) Разработаны физико-химические и медико-биологические основы нового метода неинвазивной медицины — лазерной термопластики хрящевых тканей. Данный метод основан на открытом в ИПЛИТ РАН явлении тепловой лазерно-индуцированной релаксации напряжений в хрящевой ткани. Новый метод успешно внедряется в клиническую практику.

5) Разработан новый метод лечения дегенеративных заболеваний межпозвонковых дисков под действием ИК лазерного излучения умеренной интенсивности, основанный на лазерно-индуцированной

тепловой локальной регенерации хрящей гиалинового типа. Новый метод успешно проходит стадию клинических испытаний.

6) Для диагностики лазерного испарения биотканей впервые предложен и разработан новый метод лазерной доплеровской спектроскопии, основанный на автодинном детектировании (прием на резонатор CO₂-лазера) обратно рассеянного из зоны воздействия излучения. С использованием одномодовых CO₂ лазеров мощностью до 30 Вт исследованы основные закономерности формирования доплеровских спектров для широкого круга биотканей *in vitro* различной структуры и состава и биологических жидкостей. Установлено, что такая диагностика позволяет: а) получать в реальном масштабе времени информацию о типе биоткани, с которой взаимодействуют лазерное излучение (идентифицировать ее относительно других); б) определять момент перехода излучения от одного типа ткани к другому и управлять процессом испарения тканей при достижении определенных условий; в) исследовать механизмы взаимодействия высокоинтенсивного лазерного излучения с реальными биотканями как неоднородными многокомпонентными средами. Полученные результаты не имеют отечественных и зарубежных аналогов.

7) Создан экспериментальный образец лазерной хирургической установки класса интеллектуальных медицинских систем с оперативным контролем процесса испарения биотканей методом автодинного детектирования обратно рассеянного излучения (на базе CO₂ лазерного хирургического аппарата “Ланцет” производства ГУП “Конструкторское бюро приборостроения”, г. Тула). Система оперативного контроля детектирует скачкообразное изменение автодинного сигнала при прохождении лазерного излучения через границы раздела слоев различных типов тканей с последующей выдачей управляющих воздействий на систему управления хирургической установки.

8) Проведено экспериментальное исследование механизмов передачи фотосигнала в клетке. На модели межклеточной адгезии изучены механизмы передачи и усиления фотосигнала с $\lambda=820$ нм в клетке. Показано участие ферментов дыхательной цепи на начальных этапах каскада передачи фотосигнала от фотоакцептора, цитохром с оксидазы. Обнаружено, что усиление и передача фотосигнала внутри клетки зависит от суммарного окислительно-восстановительного потенциала клетки.

9) Исследованы возможные генетические эффекты излучения He-Ne лазера. При помощи электронной микроскопии изучены ультраструк-

турные изменения в митохондриях и ядрах дрожжевой клетки *Torulopsis sphaerica*, предшественники которых были облучены He-Ne лазером. Сделан вывод, что генетические эффекты излучения He-Ne лазера связаны с митохондриальной ДНК.

10) Разработана уникальная технология, позволяющая исследовать сетчатку глаза методом **активной коррекции аберраций глаза**. Эта технология дает возможность добиться практически полного устранения искажений и получать изображения сетчатки с угловым размером до 15–20° и пространственным разрешением 3–4 микрона. Изображения регистрируются цифровой фундус-камерой сверхвысокого разрешения. Полученные данные могут быть использованы для назначения и планирования операций лазерной коррекции зрения, точного подбора контактных линз, изучения патологий.

Следующие важные результаты института по применению лазеров в биомедицине отражены в “Отчете о деятельности РАН в 2003 году”:

Разработаны новые методы модификации пористых материалов с применением сверхкритических сред и формирования и очистки пористых минерал-полимерных композитов с целью создания материалов для направленной регенерации костных тканей и имплантатов нового поколения (ИПЛИТ РАН).

Разработаны методики построения по результатам томографических исследований компьютерных биомоделей в STF формате для различных областей медицины и создана минерал-полимерная композиция для изготовления методом лазерной стереолитографии биосовместимых и биоактивных имплантатов со структурой, подобной структуре костной ткани. (ИПЛИТ РАН).

3. Лазерные технологии обработки материалов

1) Выполнен цикл теоретических и экспериментальных исследований процессов **каналированного проникновения (с аспектным отношением ~10-30) интенсивного лазерного излучения (10⁴-10⁷ Вт/см², 0,1-5 кВт) в непрозрачные для этого излучения конденсированные среды** (металлы; диэлектрические жидкости). Исследования проводились в интересах оптимизации процессов: лазерной сварки и резки материалов больших толщин, а также лазерного иссечения биотканей при медицинских процедурах.

Создана теория, учитывающая широкий класс гидродинамических неустойчивостей (капиллярно-испарительной, термокапиллярной, Кельвина-Гельмгольца), качественно согласующаяся с экспери-

ментальными данными разных авторов. Учитывались гидродинамические автоколебания формы жидких стенок канала, вызываемых макронеустойчивостями поверхности стенок, а также релаксационными пульсациями давления паров в канале, возникающими при взрывном испарении микрокапель расплава. Показано, что стабильность процесса сварки металлов больших толщин должна быть наилучшей в некотором оптимальном диапазоне скоростей, зависящем от теплофизических свойств материала и оптического качества пучка лазерного излучения. При малых скоростях процесс нестабилен из-за макромасштабной неустойчивости теплового поля. При больших скоростях процесс нестабилен из-за капиллярно-испарительной неустойчивости.

Были также проведены экспериментальные исследования и создан вариант теоретической модели лазерного канала в жидкой среде. Выявлена роль нестационарных автоколебаний параметров канала в условиях турбулентной конвекции, вызванной давлением отдачи паров, а также архимедовой и термокапиллярной силами.

Изучены гидродинамические и теплофизические механизмы лазерной резки при каналированном проникновении луча в материал. Экспериментально и теоретически выявлены механизмы потерь энергии на нагрев разрезаемого образца, которые оказались зависящими от параметров процесса удаления расплава и, как следствие, приводящими к наличию оптимальных режимов резки (по энергетике и качеству обработки). Показано, что существуют режимы лазерной резки, связанные с гидродинамическими неустойчивостями поверхности расплава и соответствующей генерацией капельной фазы.

2) На основе результатов фундаментальных исследований взаимодействия мощных лазерных пучков с веществом при глубоком проникновении разработаны и получили практическое применение **технологические процессы и оборудование лазерной сварки и резки материалов большой толщины**. Разработаны основы высокоскоростной (до 20 м/мин) лазерной сварки нержавеющей труб из аустенитного класса сталей, обеспечивающие свойства соединения по коррозионной стойкости на уровне основного металла. Разработана автоматически следящая система (оптическое зрение) за свариваемым стыком.

Создан стенд по лазерной сварке газонефтепроводных труб с комбинацией двух лазеров мощностью 5,0 и 3 кВт. Установлено, что свойства лазерных сварных соединений по своим характеристикам не уступают основному металлу.

3) Разработаны технологии прецизионной лазерной резки перспективных материалов в машино-

строительных, ядерно-энергетической и авиакосмической отраслях (при участии Института металлургии и материаловедения РАН).

4) Совместно с Институтом системного Анализа РАН созданы экспертные и интеллектуальные обучающие системы для пользователей лазерных технологических комплексов.

4. Технологические лазеры. Физика лазеров

Для создания **мультикиловаттных технологических лазеров с высоким качеством излучения** в институте были выполнены фундаментальные исследования неустойчивостей и самоорганизации токовых структур в газовом разряде; исследована роль нелинейных фазовых неоднородностей активной среды; созданы новые высокоэффективные оптические компоненты и системы (преобразователи поляризации, дифракционные зеркала, оптические резонаторы новых схем), разработаны принципы адаптивной коррекции излучения высокомоощных лазеров. Освоены высокоэффективные процессы лазерной резки перспективных материалов (графита, керамики, спецсталей) и лазерной сварки газо- и нефтепроводных труб, деталей из алюминиевых сплавов, титановых и высокопрочных сталей. Создана методика лазерной обработки поверхностей штампового инструмента. В результате этих исследований разработаны и выпускаются на базе опытно-экспериментального производства и инновационных структур при Институте промышленные технологические лазеры, а также лазерные комплексы для резки, сварки и поверхностной обработки материалов. На сегодняшний день выпущено более 150 лазеров и лазерных технологических комплексов, работающих как в России, так и за рубежом.

Проведен цикл теоретических и экспериментальных работ:

1) В интересах разработки газовых лазеров с высоким качеством излучения, обеспечиваемым пространственно-однородным разрядом, выполнено фундаментальное теоретическое исследование по моделированию процессов **пространственной самоорганизации токовых структур в газовом разряде**. Разработана замкнутая аналитическая модель процессов самоорганизации токовых пятен в самостоятельном тлеющем разряде. Показано, что образование пространственных токовых структур является следствием неустойчивости тьюринговского типа в бистабильной системе с S-образной вольт-амперной характеристикой. Обнаружена возможность возникновения структур при первоначально однородном распределении тока без внесения каких-

либо специальных инициирующих возмущений. Установлено существование критического значения плотности тока, при превышении которого спонтанное образование анодных токовых пятен становится невозможным.

2) Исследована экспериментально и теоретически роль **нелинейных фазовых неоднородностей активной среды высокоомощных лазеров**. Показано, что в газоразрядных лазерах с быстрым турбулентным потоком рабочей смеси, в результате светоиндуцированного тепловыделения развиваются мелкомасштабные нелинейные неоднородности рефракции активной среды. Этот эффект ограничивает качество излучения технологических лазеров мультикиловаттной мощности.

Методами оптической диагностики: люминесцентным, интерферометрическим, а также методом четырехволнового смешения, определены характеристики турбулентных пульсаций плотности и скорости, а также величина оптического структурного параметра турбулентности C_n^2 потока газовой смеси CO_2 -лазера с быстрой аксиальной прокачкой. Исследовано влияние газового разряда и процесса лазерной генерации на амплитуды турбулентных мелкомасштабных оптических неоднородностей активной среды. Показано, что эти амплитуды в присутствии газового разряда и генерации лазерного излучения начинают заметно возрастать в результате нелинейных эффектов локального тепловыделения в условиях термодинамически неравновесной турбулентной газовой среды. Частотные характеристики турбулентности хорошо согласуются с теорией однородной изотропной турбулентности при малых энерговкладах. При возрастании мощности энерговклада, из-за появления шнуровых неоднородностей в газовом разряде, наблюдается отклонение от закономерностей, предсказываемых этой теорией. Полученные данные важны для понимания физики турбулентности в термодинамически-неравновесных потоках газовой смеси. На основании этих данных предложено применять системы адаптивной оптики для достижения высокого оптического качества излучения мультикиловаттных лазеров.

3). Для управления энергетическими, пространственными и поляризационными параметрами

излучения технологических лазеров созданы новые **высокоэффективные оптические компоненты и системы**:

— интерференционные трансформаторы поляризации лазерного излучения. Это позволило улучшить технологические параметры качества лазерной обработки материалов.

— дифракционные зеркала с сильной анизотропией отражения взаимно ортогональных компонент излучения, что позволило впервые осуществить **радиально поляризованное излучение CO_2 -лазера киловаттного уровня мощности**. Применение такого излучения практически вдвое увеличивает эффективность лазерной резки, а также перспективно в других приложениях.

— оптические резонаторы новых схем (с селекцией мод; “устойчиво-неустойчивый” резонатор), что позволило достичь практически дифракционного предела ($M^2 = 1,1 - 1,2$) оптического качества пучка лазерного излучения мощностью до 6 кВт.

4) Развита аналитическая дифракционная теория и проведены экспериментальные исследования **высокоэффективного (92-97 %) преобразования линейно поляризованного лазерного излучения** в зеркально отраженную волну с наперед заданной поляризацией (циркулярная или линейная с поворотом плоскости поляризации на произвольный угол) при резонансном возбуждении ПЭВ на металлических дифракционных решетках (поляризационные аномалии Вуда). Продемонстрирована эффективность использования разработанных 90-градусных поляризаторов в составе технологического комплекса по резке металлов излучением CO_2 лазера. Теоретически разработан и экспериментально реализован ряд дифракционных методов высокоэффективной трансформации падающего линейно поляризованного излучения в волну с радиальной или азимутальной (по поперечному сечению пучка) поляризациями.

5) Разработаны **бесконтактные методы и приборы контроля подповерхностных дефектов** в материалах (метод термоволновой микроскопии, метод лазерной оптоакустической диагностики). Такие приборы позволяют обнаруживать дефекты на глубинах до 100 мм при разрешении 50 мкм.

Историческая справка

Институт проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН (до 1998 года — Научно-исследовательский центр по технологическим лазерам — НИЦТЛ РАН), был создан в соответствии с решением Президиума АН СССР N 719 от 21.06.79 «Об организации НИЦТЛ АН». Во исполнение соответствующего Постановления Совета Министров СССР от 15 февраля 1979 г. было принято решение об организации научного учреждения нового типа — НИЦТЛ АН — на правах научно-исследовательского института, при Секции физико-технических и математических наук АН СССР. В отличие от обычного НИИ, на этот Центр, кроме задач проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, были возложены задачи создания лазерных технологий, опытно-конструкторских разработок технологических лазеров, соответствующей лазерной техники и других задач, нацеленных на скорейшее обеспечение отечественной промышленности технологическими лазерами и лазерными технологическими процессами. Идея создания Лазерного центра, активно поддержанная Президентом АН СССР академиком А.П.Александровым, принадлежит академику Е.П.Велихову, в те годы вице-президенту АН СССР.

НИЦТЛ АН был ориентирован на создание лазерной техники и технологии исключительно гражданского назначения: на момент появления идеи его создания, в стране существовало несколько научных центров, разрабатывавших лазерную технику в интересах обороны страны (Филиал ИАЭ им. И.В.Курчатова, НПО «Радуга», «Арзамас-16», НИИ «Полус», НИИ «Исток» и ряд других). Решение о создании НИЦТЛ АН было одним из крупных шагов руководства страны и Академии наук в направлении конверсионных программ, тем более, что оборонным ведомствам, выпускавшим лазерную технику (Миноборонпрому, Минэлектронпрому, Минсредмашу, Минавиапрому и др.), Постановлением Совета министров от 15.02.79 г. поручалось обеспечить выпуск комплектующих изделий для технологических лазеров (электронику, оптику, механику). Промышленный выпуск лазерной техники гражданского технологического назначения, разрабатываемой НИЦТЛ АН, поручалось освоить Минэлектротехпрому.

Факт создания такого Центра, как НИЦТЛ АН, выделение больших государственных ресурсов на его строительство, оснащение и комплектование кадрами, явился первым шагом на пути создания в стране научно-производственных предприятий принципиально нового типа, целью деятельности которых было создание высоких технологий гражданского назначения на основе последних достижений фундаментальной науки, а также на основе конверсии прикладных разработок, имевших оборонное значение. В данном случае, при создании НИЦТЛ, имелись в виду разработка и внедрение лазерных технологий во всех отраслях народного хозяйства: в машиностроении, на транспорте, в аэрокосмической технике, в компьютерных технологиях, в микро- и оптоэлектронике, в медицине и в контроле окружающей среды.

Прежде всего, Центру было необходимо заняться задачами, которыми комплексно в стране никто не занимался — созданием и внедрением «силовых» лазерных технологий, научной разработкой и затем внедрением новых, перспективных применений лазеров в обработке материалов, веществ и в биомедицине. Практически это привело к осуществлению ряда приоритетных разработок фундаментального и прикладного характера в области высоких оптических технологий, о чем сообщается в разделе **«Наиболее важные результаты института»**.

Основными задачами НИЦТЛ, согласно его уставу, являлись:

1. Развитие лазерной физики применительно к созданию мощных газовых лазеров для технологических целей.
2. Разработка и создание головных образцов технологических лазеров с различными активными средами и различными способами их возбуждения.
3. Исследования эффективных областей применения лазерной технологии.
4. Оказание научно-технической и методической помощи при внедрении лазерной техники в народном хозяйстве.
5. Организация и проведение, совместно с Минвузом, учебно-методической работы по подготовке специалистов для использования лазерных технологических установок в промышленности.

6. Координация исследований по лазерной технике и технологии гражданского назначения в научных учреждениях СССР с целью повышения эффективности этих работ.

7. Проведение патентно-лицензионных исследований, а также издание информационных материалов по технологическим лазерам и их применению.

8. Осуществление международного научно-технического сотрудничества в области исследований, разработок и изготовления технологических лазеров.

9. Организация кооперативных связей с промышленностью, а также передача в промышленность разработок технологических лазеров для их серийного производства.

Этим Решением директором НИЦТЛ АН был назначен Г.А.Абильситов, в то время работавший заместителем директора Филиала ИАЭ им. И.В.Курчатова (ФИАЭ, г. Троицк); заместителем директора по научной работе был назначен профессор В.С.Голубев, в то время работавший руководителем отдела газовых лазеров ФИАЭ.

Предпосылкой организации Центра явилось создание первых экспериментальных технологических CO_2 -лазеров мощностью 5 и более кВт в ФИАЭ (Троицк), а также, под научным руководством ФИАЭ, в ряде других институтов оборонного комплекса страны — в НПО “Красная звезда” (Протвино), в Научно-исследовательском институте электрофизической аппаратуры (НИИЭФА им. Ефремова, Ленинград), на Казанском машиностроительном заводе (КМЗ, Минавиапром). С помощью этих лазеров были выполнены первые опыты по технологии лазерной обработки материалов и изделий, в том числе на крупных предприятиях, таких как ЗИЛ (лазерная сварка и поверхностная термообработка) и Казанский авиамоторный завод (лазерная сварка). В лабораториях ФИАЭ, НИИЭФА, КМЗ, в МВТУ им. Баумана в течение 70-х годов проводились демонстрационные опыты и велись исследования процессов обработки материалов: заковки, наплавки, сварки, резки, прошивки отверстий — излучением мощных CO_2 -лазеров.

К концу 70-х годов в нашей стране были созданы научные и технические предпосылки широкого практического внедрения лазерной технологии обработки материалов с применением мощных CO_2 -лазеров (ТЛ). К этому времени ведущими лазерными научными школами нашей страны, под руководством академиками А.М.Прохоровым, Н.Г.Басовым, Р.В.Хохловым, Е.П.Велиховым, Ю.Я.Ишлинским, В.А.Глухих, был создан научный фундамент в области разработок лазеров всех основных типов, процессов

взаимодействия лазерного излучения с веществом, лазерной оптики и лазерной техники.

В эти же годы в предприятиях Минэлектронпрома осуществлялся ограниченный (в основном для внутриведомственных нужд) выпуск технологических лазеров (газовых на CO_2 и твердотельных) на среднюю мощность от десятков до сотен Вт, успешно применявшихся в условиях промышленных предприятий. Главными НИИ по разработке этих ТЛ были “Исток” (Фрязино) и “Полюс” (Москва). Разработкой и промышленным выпуском мощных ТЛ для нужд **всех отраслей** народного хозяйства до конца 70-х годов **не занималось ни одно ведомство**. Высокий научный уровень фундаментальных разработок мощных ТЛ и процессов лазерной технологии обработки материалов в ФИАЭ, а также их успешные испытания, проведенные на ряде промышленных предприятий, убедили руководство страны в необходимости широкого внедрения лазерной технологии, что конкретизировалось в организации НИЦТЛ АН.

Юридически НИЦТЛ АН начал функционировать в декабре 1979 г. в г. Троицке, сначала в одном из помещений администрации города, а затем, с осени 1980 г. — в особняке на ул. Пионерской, принадлежавшем Академии наук. Здесь одним из первых был размещен отдел лазерной атомно-молекулярной селективной технологии, руководимый профессором В.С.Летоховым (являвшимся зам. директора Института спектроскопии АН). В 1980 г. были организованы базовые лаборатории НИЦТЛ АН на заводах Москвы — ЗИЛ, “Салют” и “Знамя труда”. Эти лаборатории вошли в состав отдела газовых лазеров, руководителем которого стал д.ф.м.н. В.Ф.Лебедев, являвшийся сотрудником ФИАЭ (где он возглавлял научный отдел). В этом же году с МВТУ им. Баумана был создан совместный научно-учебный центр (НУЦ) по лазерной технологии на базе кафедры МВТУ “Технология и оборудование лазерной обработки”. В состав НУЦ, кроме этой кафедры вошел созданный в том же году отдел термической лазерной технологии НИЦТЛ, руководителем которого стал заведующий кафедрой профессор А.Г.Григорьянц, он же являлся руководителем НУЦ.

Одновременно в НИЦТЛ был создан конструкторский отдел под началом Ю.А.Егорова, перешедшего с группой конструкторов из НПО “Красная звезда”. Этот отдел начал свою работу в на арендуемых площадях в г. Шатуре за несколько лет до появления там собственных зданий Центра. Впоследствии конструкторский отдел возглавил А.И.Бондаренко, являющийся его руководителем по настоящее время (2004).

В 1980 г. Президиумом АН было принято решение, согласованное с областными и районными властями, о строительстве зданий основной научно-производственной базы НИЦТЛ АН в г. Шатуре. Проектные работы были выполнены мастерской А.С.Панфиля в ГИПРОНИИ АН, строительство зданий осуществлялось фирмой "ПЕРУСЮХТОМЯ" (Финляндия) и было закончено в 1985 году.

В 1982 году был создан отдел автоматизации технологических лазеров (руководитель — В.Г.Гонтарь), в 1984 г. — отдел лазерной оптики под руководством В.П.Якунина. В 1985 г. был организован теоретический отдел, который возглавил В.Я.Панченко, перешедший по приглашению вице-президента Е.П.Велихова из МГУ им. М.В.Ломоносова. Таким образом, ядро коллектива научных работников и конструкторов-разработчиков в НИЦТЛ составили ученые и специалисты, прошедшие школы в перво-классных научных и технических центрах (ИАЭ им. И.В.Курчатова, ИСАН, МГУ, МВТУ, НПО "Красная звезда").

Научные и научно-производственные коллективы НИЦТЛ, приступившие сразу же после своего образования к выполнению задач Центра, сформулированных в его Уставе, в значительной мере выполнили эти задачи к началу 90-х годов. К 1988-1991 г.г. были созданы промышленные образцы технологических СО₂-лазеров второго поколения с высокой мощностью излучения, разработаны несколько типов компьютеризированных лазерных технологических комплексов, разработано и проверено в реальных производственных условиях несколько десятков процессов лазерной технологии обработки материалов, выполнены фундаментальные исследования в области лазерной микротехнологии и биомедицины. В 1992-1998 г.г., после смены экономической формации в стране, в НИЦТЛ АН усилилась ориентация на разработку высоких оптических, лазерных и лазерно-информационных технологий, прежде всего для задач стереолитографии, микро-оптоэлектроники и биомедицины. Разработки традиционных видов "силовой" лазерной технологии также были продолжены, но уже в зависимости от наличия конкретных потребителей-заказчиков.

В связи с отмеченной выше сменой приоритетов в тематике НИЦТЛ, решением Президиума РАН он был переименован в 1998 г. в Институт Проблем Лазерных и Информационных технологий (ИПЛИТ) РАН.

Организационно ИПЛИТ РАН входит в состав Отделения Информационных технологий и вычислительной техники РАН.

В период, последовавший после 1991 г. и продолжающийся поныне (2004 г.), коллектив ИПЛИТ РАН, несмотря на резкий спад внимания руководства страны к развитию науки и высоких технологий, сумел развить работы по научным направлениям в областях лазерно-информационных технологий и лазерной биомедицины, продолжая традиционные исследования и разработки по лазерной технологии обработки материалов, по физике и технике технологических лазеров.

Были получены высоко оцененные мировым научным сообществом результаты фундаментальных и прикладных исследований по созданию лазерно-информационных технологий:

- формирования субмикронных структур;
- создания новых элементов оптоэлектроники (узкополосных оптических фильтров) и базовых элементов для оптических информационных систем;
- лазерно-информационных технологий дистанционного создания трехмерных объектов и биомоделирования;
- адаптивной оптической коррекции излучения мощных промышленных лазеров и лазеров, применяемых в фундаментальных исследованиях.

Прочное признание и высокую оценку получили также работы Института в области лазерной биомедицины, особенно:

- дистанционное биомоделирование фрагментов скелета и индивидуальных имплантов методом лазерной стереолитографии по входным данным, передаваемым по сетям "Интернет";
- интеллектуальная лазерная медицинская система "Перфофор" для проведения операций на сердце по процедуре трансмиокардиальной реваскуляризации;
- лазерная термопластика хрящевых тканей;
- лазерная диагностика типа биотканей в реальном масштабе времени на основе метода доплеровской спектроскопии.

В этот же период в Институте были получены новые результаты по созданию индустриальных СО₂-лазеров с высоким качеством излучения, а также по физике и технологии процессов лазерной обработки (резка, сварка) при глубоком проникновении мощного лазерного пучка в материал

Высокая оценка выполненных Институтом работ отражена многочисленными фактами международных и национальных грантов и контрактов, приглашения докладов от Института на международные конференции высшего рейтинга. Большим успехом пользовались организованные Институтом

Международные конференции по индустриальным лазерам и лазерно-информационным технологиям “ILLA”, (в 1982, 1985, 1989, 1993, 1995, 1998, 2001, 2003 гг.) В частности, широко известны VII конференция в г. Суздале (2001 г.) и VIII конференция в г. Пловдиве, Болгария (2003 г.). По итогам этих конференций изданы сборники их трудов в Известиях РАН, причем труды последних пяти конференций опубликованы также в виде специальных томов Proc. SPIE.

ИПЛИТ РАН организовал и провел Международную конференцию по применению адаптивной оптики в промышленности и медицине (1997 год) и Российско-Британский международный симпозиум по лазерохимии (BRIS-96), успешно провел первую крупную международную конференцию “Лазеры и технологии их применения” (LAT) в рамках авторитетного Международного симпозиума “IQEC/LAT” (Москва, 2002 г.).

Укреплению международных научных связей активно способствовали международные конференции, проводимые при соучредительстве МЛЦ и ИПЛИТ РАН: “Superintense Laser Fields” (St. Petersburg, 1991), “Laser Microtechnology and Laser Diagnostics of Surfaces” (Chernovtsy, 1991), совместные Российско-Греческие семинары. Ученые института были в составе организационных или программных комитетов крупных международных конференций по лазерной и оптической тематике (“Оптика лазеров”, “Когерентная и Нелинейная Оптика” (ICONO), “Применение лазеров в науках о жизни” (LALS), “Advanced Laser Technologies” (ALT), по фотобиологии, лазерной медицине и др.). На крупнейших конференциях по лазерам и их применениям были представлены приглашенные доклады (“Gas Flow and Chemical Lasers”, “Laser and Optoelectronics”, “Trends in Quantum Electronics”, “Photonics West”, и многие другие). Ученые ИПЛИТ РАН в разные годы приняли участие в общих и специализированных научных конференциях по лазерной тематике в таких странах, как США, Великобритания, Германия, Франция, Италия, Чехословакия, Польша, Болгария, Греция, Индия, Китай, Австралия, Израиль и др., участвовали в национальных школах по лазерной физике, технологии и медицине, проводившихся на базе МГУ,

МГТУ, ЛИТМО, Красноярского и Саратовского университетов.

Достижения ученых Института высоко оценены руководством Академии Наук, Правительством страны и международным научным сообществом. В 2000 году директор Института В.Я.Панченко был избран членом-корреспондентом РАН. Он является также Президентом Российского отделения Международного общества Оптической Техники (SPIE/RUS), а также носителем почетного звания “fellow SPIE”. Профессор Т.Й. Кару является вице-президентом Международного Общества фотобиологов. Четверым ученым института (профессорам В.Н.Баграташвили, В.С.Голубеву, Л.А.Новицкому, В.Я.Панченко) присвоено почетное звание “Заслуженный деятель науки Российской Федерации”. Главный конструктор института, А.И.Бондаренко, удостоен почетного звания “Заслуженный конструктор” Российской Федерации.

Сотрудникам института В.Я.Панченко, А.В.Евсееву, Е.В.Коцюбе, С.В.Камаеву, М.М.Новикову (в составе авторского коллектива от нескольких организаций РФ) присуждена премия Правительства РФ 2003 г. за исследование, разработку и внедрение в промышленность комплексной системы автоматизации предприятий на базе современных информационных технологий. Их вклад состоял в создании отечественного оборудования и технологий лазерной стереоэлитографии.

Сотрудникам Института В.В.Васильцову, Е.В.Зеленову и В.А.Ульянову (в составе авторского коллектива от нескольких организаций РФ) присуждена премия Правительства РФ 2003 г. за разработку и внедрение трансмиокардиальной лазерной реваскуляризации — метода лечения неоперабельных больных. Их вклад состоял в создании интеллектуальной лазерной системы, предназначенной для проведения названной хирургической процедуры.

Шестеро сотрудников института награждены орденами и медалями РФ.

Достижения Института многократно отмечались дипломами (27 раз) и медалями (35 раз) Международных и Национальных научно-технических выставок.

