

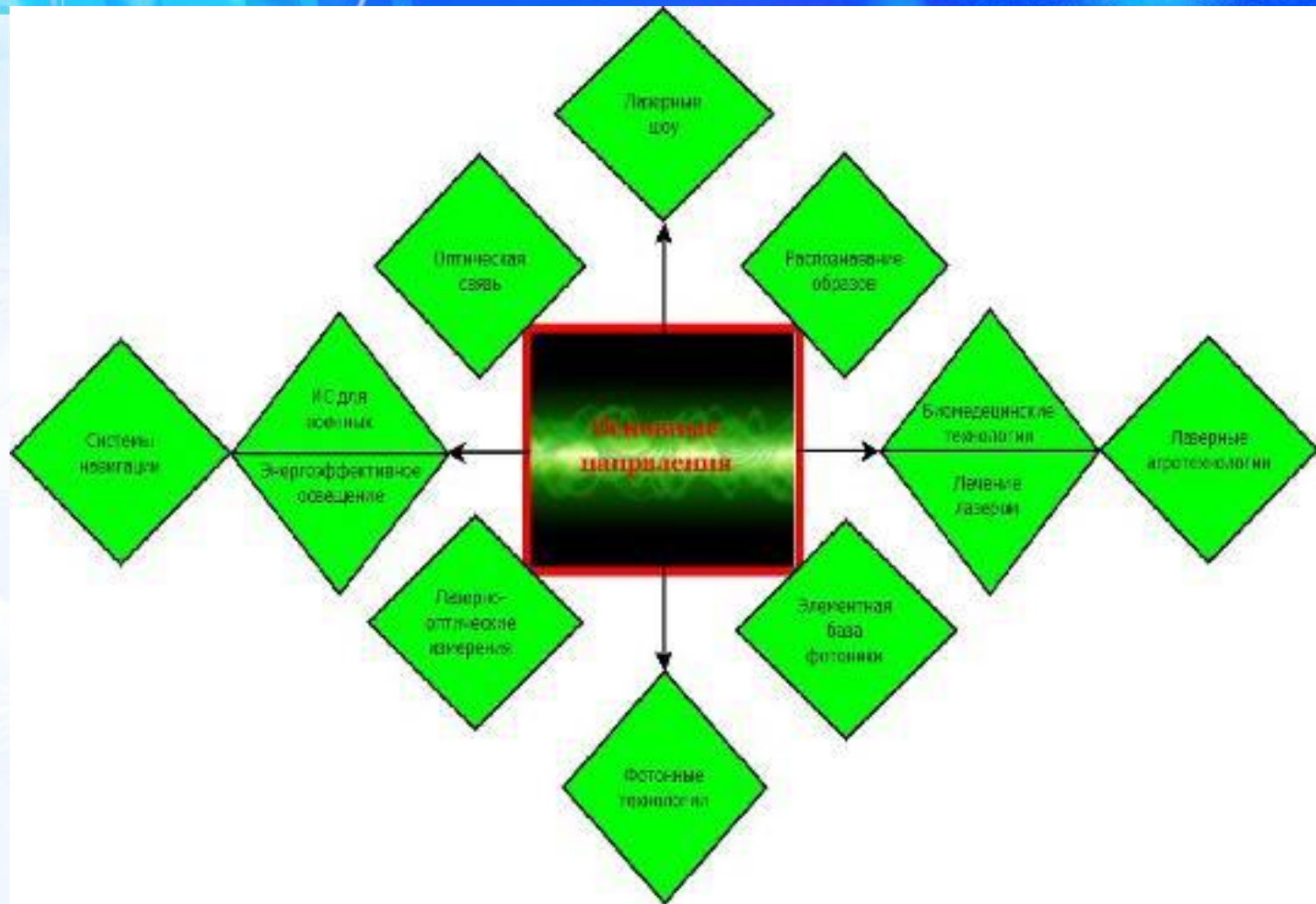
**Основные направления  
оптоэлектронных технологий**

# Оптоэлектронные технологии

- Исследование, разработка и серийное внедрение высокоэффективных светодиодных осветительных и светосигнальных устройств для транспортных систем, систем дорожной безопасности, радиоэлектронных измерительных приборов и нужд городского хозяйства



# Основные направления



# Наноэлектроника как элемент инфраструктуры наноиндустрии .

- Пять основных типов наноматериалов. Среди них: различные виды низкоразмерных полупроводниковых наноструктур (нуль-, одно- и двумерных), магнитные наноструктуры, двумерные многослойные структуры из пленок нанометровой толщины и слоев квантовых точек (сверхрешеточные структуры), молекулярные наноструктуры, фуллереноподобные материалы, а также методы их диагностики.



# Нанотехнология, наноматериал, наносистемная техника

- **«Нанотехнология»** - совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие принципиально новые качества.
- **«Наноматериал»** - материал, содержащий структурные элементы, геометрические размеры которых, хотя бы в одном измерении, не превышают 100 нм, и, благодаря этому, обладающий качественно новыми свойствами;
- **«Наносистемная техника»** - созданные полностью или частично на основе наноматериалов и нанотехнологий функционально законченные системы и устройства, характеристики которых кардинальным образом отличаются от показателей систем и устройств аналогичного назначения, созданных по традиционным технологиям

# Наноструктуры

- Современный опыт разработки приборов и устройств на основе квантовых гетероструктур (лазеры на квантовых точках, сверхбыстродействующие транзисторы, запоминающие устройства с гигантским магнитосопротивлением) показывает, что результаты фундаментальных исследований в этой области находят практическое применение за весьма короткое время. Эти достижения уже в ближайшие годы способны привести к кардинальным изменениям во многих сферах человеческой деятельности – в электронике, информатике, энергетике, медицине и др. По оценкам зарубежных экспертов объем мирового рынка нанотехнологий в 2020 году составит более 2 трлн. долларов США.



# Задачи наноэлектроники

- Ранее повышение функциональной сложности и быстродействия систем достигалось увеличением плотности размещения и уменьшением размеров элементов, принцип действия которых не зависел от их масштаба. При переходе к элементам размера единиц нанометров возникает новая ситуация, состоящая в том, что квантовые эффекты (**туннелирование, размерное квантование, интерференционные эффекты**) оказывают определяющее влияние на физические процессы в наноструктурах и функционирование приборов на их основе.
- Многообещающим является также создание наноструктур, в которых роль функциональных элементов выполняют отдельные молекулы. В перспективе это позволит использовать принципы приема и переработки информации, реализуемые в биологических объектах (**молекулярная наноэлектроника**). Новые возможности в повышении мощности, температурной и радиационной стойкости, расширении диапазона частот, улучшении эргономических характеристик приборов открывает направление, в котором синтезируются идеи и технологические достижения вакуумной и твердотельной электроники (**вакуумная наноэлектроника**).

# Роль технологий

- Достижения в разработке и изготовлении наноструктур различного назначения в наибольшей степени определяются уровнем развития технологий, которые позволяют с атомной точностью получать наноструктуры необходимой конфигурации и размерности, а также методов комплексной диагностики свойств наноструктур, включая контроль в процессе изготовления (*in situ*) и управление на его основе технологическими процессами.
- Подавляющее большинство новых физических явлений на наномасштабах проистекает из волновой природы частиц (электронов и т. д.), поведение которых подчиняется законам квантовой механики.
- Используя методы «зонной инженерии», можно конструировать квантово-размерные структуры с заданным электронным спектром и требуемыми оптическими, электрическими и другими свойствами



# Полупроводниковые наноструктуры

## Квантовые ямы(К.Я.)

**К.Я.** - системы, в которых имеется размерное квантование движения носителей заряда в одном направлении. Первоначально основные исследования **К.Я.** проводились на инверсионных каналах кремниевых МОП-транзисторов, позднее и до настоящего времени широко исследуются свойства **К.Я.** в гетероструктурах. Основные физические явления в **К.Я.**: размерное квантование электронного спектра, квантовый эффект Холла (целочисленный и дробный), при специальном приготовлении очень высокая подвижность электронов. Основные методы получения **К.Я.** на гетероструктурах: металлоорганическая газовая эпитаксия и молекулярно-пучковая эпитаксия.

- Приборные применения: высокочастотные полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов, полупроводниковые гетеролазеры и светодиоды от ближнего ИК до голубого света, лазеры дальнего ИК-диапазона, параметрические источники света среднего ИК-диапазона, фотоприемники среднего ИК-диапазона, примесные фотоприемники дальнего ИК-диапазона, приемники дальнего ИК-диапазона на квантовом эффекте Холла, модуляторы в ближнем ИК-диапазоне.

# Полупроводниковые наноструктуры

## Квантовые проволоки

- К.П. — это системы, в которых достижение носителей заряда квантовано в двух направлениях. Первые квантовые проволоки выполнялись на основе квантовых ям посредством создания потенциального рельефа с помощью двух затворов, расположенных над квантовой ямой. Основные физические явления в квантовых проволоках: квантование проводимости, сильно коррелированный электронный транспорт.
- Основные методы получения квантовых проволок те же, что и квантовых ям, плюс использование прецизионного травления или специальных затворов.
- Приборных применений пока нет.



# Полупроводниковые наноструктуры. Квантовые точки

- К.Т.— нанообъекты, в которых движение носителей заряда квантовано во всех трех направлениях. Имеют дискретный энергетический спектр (искусственный атом). Основные физические явления в квантовых точках: одноэлектронные и однофотонные явления. Методы получения те же, что и для квантовых ям, однако несколько иные режимы, если происходит спонтанный рост квантовых точек по механизму Странски—Крастанова. Или использование прецизионной литографии для создания квантовых точек из квантовых ям.
- Приборные применения: лазеры и светодиоды в ближнем ИК-диапазоне, фотоприемники для среднего ИК-диапазона, однофотонные приемники, однофотонные генераторы, одноэлектронные транзисторы

# Полупроводниковые наноструктуры. Структуры с туннельно-прозрачными барьерами

- *СТПБ* (системы квантовых ям и сверхрешетки). Основные физические явления в таких системах: резонансное туннелирование; формирование минизонного спектра в сверхрешетках — периодических системах, содержащих много квантовых ям, разделенных туннельно-прозрачными барьерами; нелинейные электрические и оптические явления в сверхрешетках. Методы выращивания этих структур те же, что и для квантовых ям.
- Приборные применения: резонансно-туннельные диоды (генераторы и смесители в гигагерцовом и терагерцовом диапазонах); мощные генераторы и смесители на сверхрешетках: каскадные лазеры среднего и дальнего ИК-диапазонов



# Полупроводниковые наноструктуры. Фотонные кристаллы

- Ф.К.— системы, в которых имеется зонный спектр для фотонов. Основные физические явления: отсутствие пропускания (полное отражение) света в определенном диапазоне частот, резонансные фотонные состояния.
- Возможные приборные применения: эффективные лазеры с низкими пороговыми токами, системы управления световыми потоками

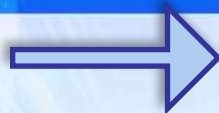
# Фотоника и космомикрoфизика

- Особенно активно элементы фотоники используются в экспериментах относительно новой области физики *Astroparticle Physics* или **космомикрофизики**, как называют эту область у нас в стране. Элементы фотоники и фотонные методы используются в подавляющем большинстве современных космомикрoфизических экспериментов. Как правило, детекторы фотонов являются базовыми детектирующими элементами в этих экспериментах и зачастую используются в огромных количествах. Например, в подземном нейтринном эксперименте *Super-Kamiokande* используются более 13 тысяч крупногабаритных детекторов фотонов, в эксперименте по исследованию космических лучей ультра высоких энергий *Pierre Auger Observatory* - в общей сложности около 15 тысяч детекторов фотонов, а в таких будущих нейтринных экспериментах как *Hyper-Kamiokande* или *MEMPHIS* планируется использовать уже ~200 тысяч детекторов фотонов, подобных используемым в *Super-Kamiokande*. Практически во всех экспериментах, где применяются детекторы фотонов, используются и источники фотонов (лазеры, лазерные диоды, светодиоды, разрядные источники света и т.д.) для калибровки экспериментальных установок и тестирования как детекторов в целом, так и отдельных детекторных элементов



# Лазерные технологии в мировом судостроении

Лазерная  
резка



- точность резки
- производительность
- экономическая эффективность

Лазерная  
сварка

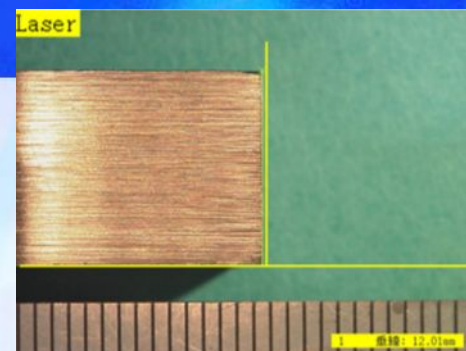
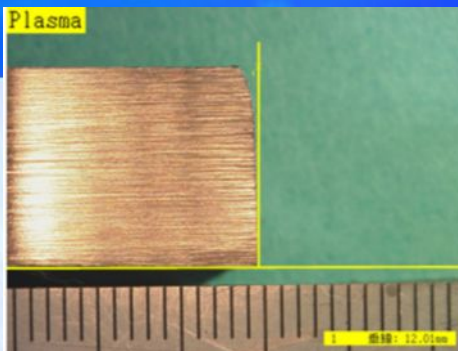


- точность габаритных изделий
- производительность
- себестоимость

- низкая трудоемкость монтажных операций
- высокая экономическая эффективность
- повышение конкурентоспособности

## Сравнение с традиционными технологиями

Качество реза  
лазерной технологии  
по сравнению  
с плазменной



Низкое коробление  
панелей после  
лазерной сварки в  
сравнении с дуговой



Снижение  
трудоемкости монтажа  
за счет точности  
выполнения сварных  
конструкций





# Стандартное оборудование для резки на базе волоконных лазеров



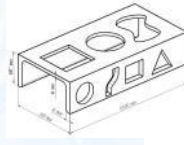
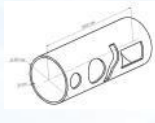
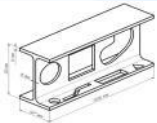
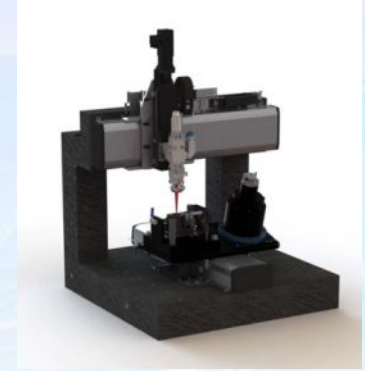
## Основные технические характеристики:

Мощность лазерного излучения	2-4 кВт
Количество осей	2
Стабильность повторяемости	+/- 0,01 мм
Рабочее поле станка	до 12000x2000x100 мм
Занимаемая площадь	20 кв. м

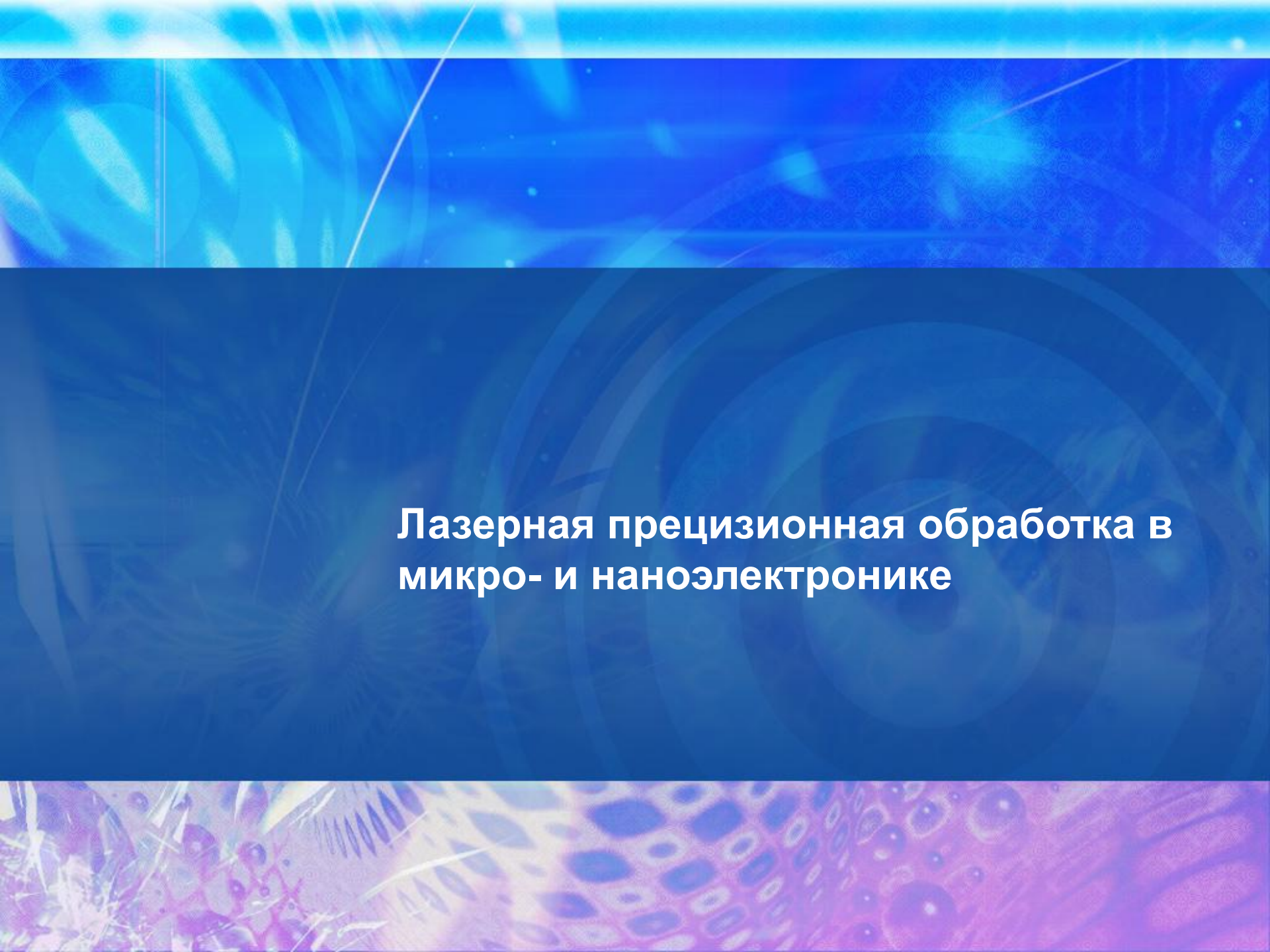
## Оптические головки для резки IPG



# Универсальное оборудование резки/сварки/термообработки







**Лазерная прецизионная обработка в  
микро- и наноэлектронике**

# Основные направления и их расшифровка

- **Автоматизированные лазерно-технологические системы для прецизионной обработки материалов.** Современные лазерно-технологические системы для микротехнологии. Автоматизированные системы для осаждения тонких пленок. Лазерно-технологические системы для трехмерной обработки прозрачных материалов
- **Лазерная микротехнология.** Лазерная доводка резисторов. Лазерный отжиг полупроводников. Лазерное легирование поверхности. Лазерная маркировка и гравировка. Формирование функциональных элементов интегральных схем с применением лазерно-стимулированных процессов
- **Прецизионное лазерное осаждение тонких пленок.** Осаждение тонких диэлектрических и металлических пленок из парогазовых смесей в условиях лазерной стимуляции. Формирование многокомпонентных и многослойных структур.
- **Прецизионная лазерная обработка оптически прозрачных материалов.** Лазерный пробой оптически прозрачных материалов. Формирование объемных изображений внутри прозрачных материалов. Основы лазерной записи информации в прозрачных материалах



# Основная литература

- В.П. Вейко В.П. Опорный конспект лекций «Лазерные микро– и нанотехнологии в микроэлектронике». – СПб: НИУ ИТМО, 2011.– 141 с.
- Вакс Е.Д., Миленький М.Н., Сапрыкин Л.Г.  
Практика прецизионной лазерной обработки: Техносфера 2014  
г.-680 с

# Микрообработка

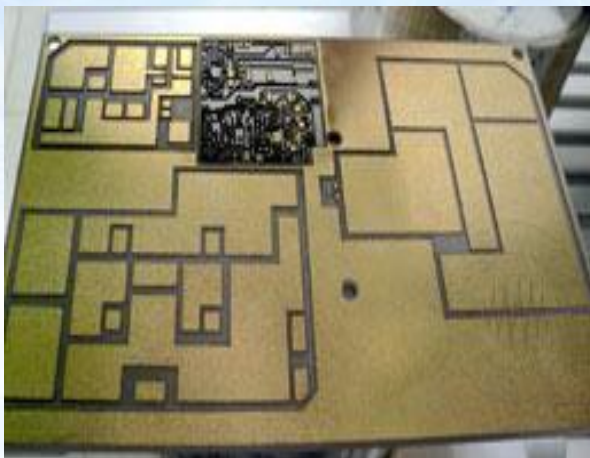
- Современные тенденции развития электроники и электронной техники требуют применения новых материалов и принципиально новых миниатюрных изделий. Инновационные изделия электронной техники (миниатюрные платы, резонаторы, специальные изделия и др.) базируются на использовании керамических материалов (ситалл, поликор, нитрид алюминия, нитрид кремния и другие), а также традиционных (кремний и другие полупроводники) и специальных (фторопласт, полиэтилен и др. ) подложек покрытых различными металлами и сплавами.

Микрообработка таких изделий, **особенно в не крупносерийном производстве**, когда традиционные (фотополимерные и фотохимические ) методы весьма затратны, требует гибких, точных и устойчивых (повторяемых) технологий. **Лазерный Центр** разработал ряд технологических решений для микрообработки



- **К таким решениям относится:**
- удаление металлического слоя с высоким разрешением без повреждения подложки
- создание топологии подложки в 3-Д измерении для многоуровневых миниатюрных изделий
- вырезка сформированных образов по заданному контуру любой сложности
- формирование отверстий различного профиля (конусных, цилиндрических и других).

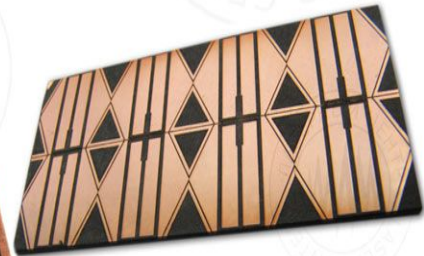
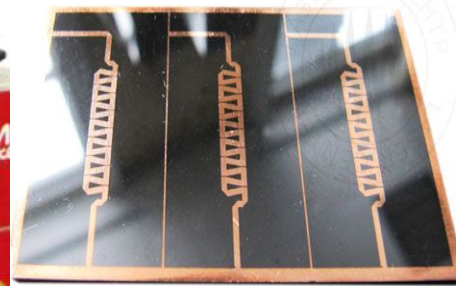
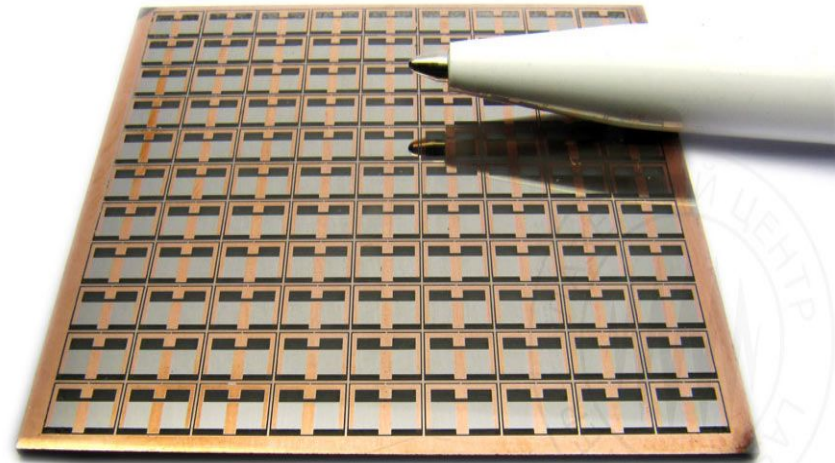
# Пример топологии электронной платы на керамической подложке (ситалл, поликор) выполненная методами лазерной обработки



Технологические решения и комплексы оборудования ([МиниМаркер 2 M20](#) Технологические решения и комплексы оборудования ([МиниМаркер 2 M20](#), [МиниМаркер2 M20A4](#) Технологические решения и комплексы оборудования ([МиниМаркер 2 M20](#), [МиниМаркер2 M20A4](#), [рабочие станции PC20](#) и [PC 20A4](#)) разработаны ООО «Лазерный Центр»



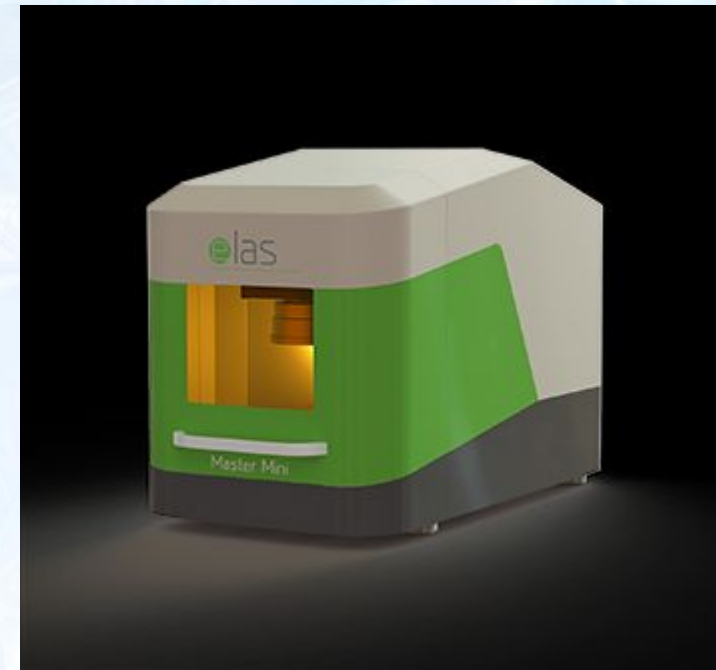
# МиниМаркер 2-20А4 - компактный прецизионный маркер на базе волоконного лазера



# Оборудование для лазерной микрообработки (резки)

- Лазерная система микрообработки MASTER Mini
- Тип лазера: DPSS, пс / фс, волоконный
- Длина волны лазера: 1064 / 532 / 355 нм
- Средняя мощность: 6 Вт / 3 Вт
- Длительность импульса: < 10 пс
- Диапазон перемещений столика:  
100 × 100 мм

серия позволяет выполнять маркировку, абляцию, резку, сверление, структурирование поверхности и отличается уменьшенными размерами.





# Оборудование для лазерной микрообработки

- Лазерная система микрообработки MASTER Micro
- Тип лазера: нс, DPSS / пс, DPSS
- Средняя мощность: 0.5 Вт / 6 Вт
- Диапазон перемещений столика: 110 × 110 × 100 мм
- Производитель [ELAS](#)

Станция лазерной микрообработки MASTER Micro – это самая компактная система лазерной микрообработки для лабораторных исследований. Это настольное устройство может оказаться полезным для биологической, медицинской, солнечной, поверхностной или внутриобъемной маркировки и аналогичных применений.

- **Области применения**
- [Маркировка](#)
- [Селективная абляция](#)
- [Структурирование](#)



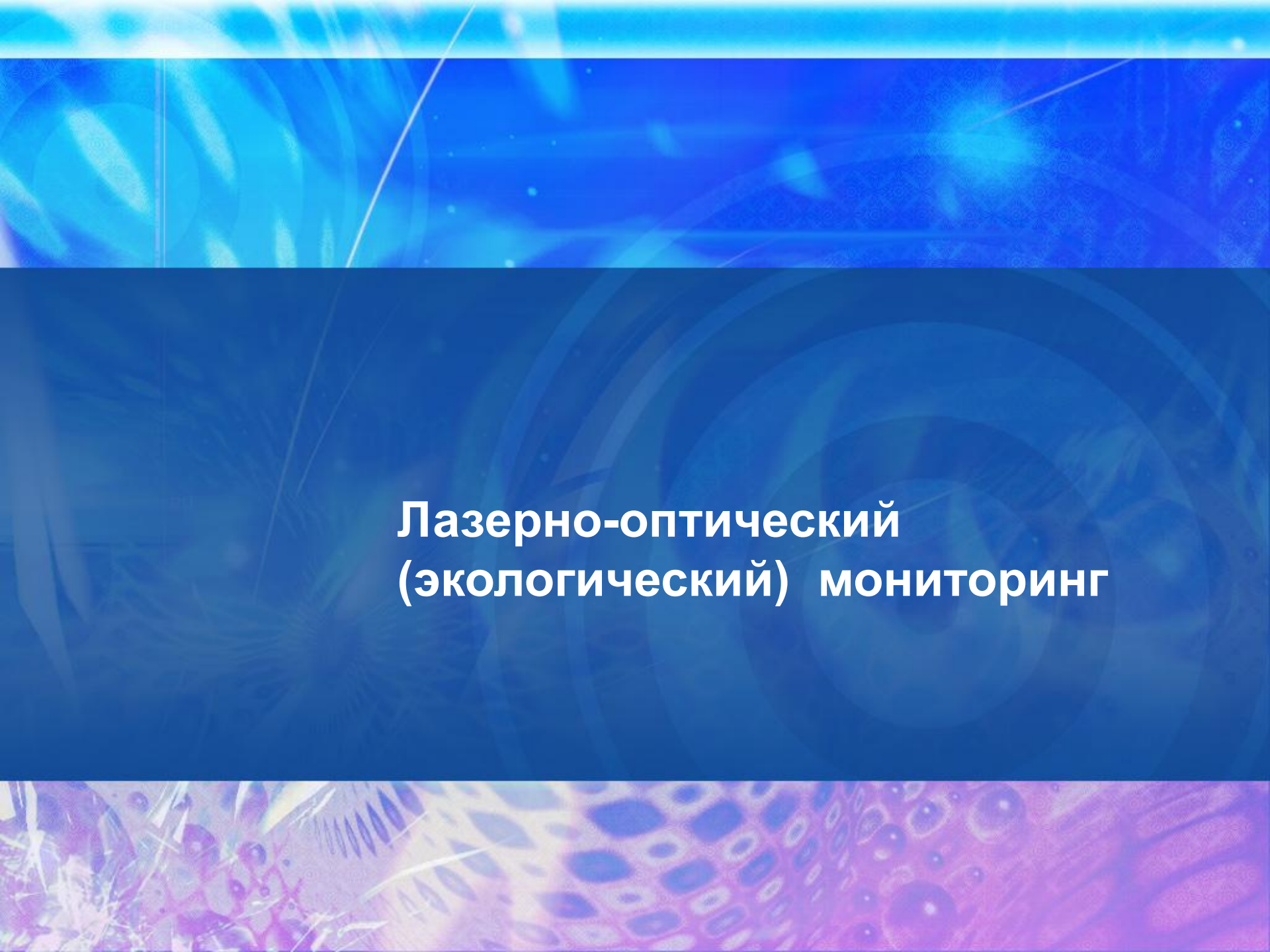
# Прецизионная лазерная микрообработка

- В области лазерной микрообработки ультракороткие импульсы минимизируют зоны термического влияния и увеличивают точность обработки. Высокая частота следования импульсов и адекватная энергия импульса обеспечивают высокую производительность абляции материала.
- За последние несколько лет впечатляющий прогресс в разработке пикосекундных лазеров сделал их надежным инструментом, привлекательным для данной отрасли. Ряд новых реальных приложений прецизионной лазерной обработки (резки) стали возможными только с их появлением. Пикосекундные или фемтосекундные импульсы сопоставимы с временем электрон-фононной релаксации и являются достаточно короткими для "холодной" абляции. Эффективная генерация второй, третьей или даже четвертой гармоник открывает широкие возможности для адаптации свойств материалов и природы процесса. Уменьшенный порог абляции и более низкая энергия импульса создают меньшие механические и тепловые нагрузки на заготовку.



# Прецизионная лазерная микрообработка

- В области микрообработки широко используются нано-, пико- и фемто-секундные лазеры. С практической точки зрения, пикосекундные лазеры имеют ряд преимуществ по сравнению с еще более короткими импульсами (фемтосекундными). Без необходимости растяжения и сжатия импульса для усиления пикосекундные лазеры являются менее сложными по своей конструкции и, следовательно, более экономически эффективными и надежными, а их импульсы все еще достаточно коротки для очень точной и безстрессовой микрообработки.
- Пикосекундные рабочие станции прецизионной лазерной микрообработки способны непосредственно обрабатывать в широком масштабе микронных размеров почти все материалы, в том числе:
  - Металлы
  - Полупроводники
  - Керамика
  - Полимеры
  - Композиты и смолы
  - Алмазы



**Лазерно-оптический  
(экологический) мониторинг**



- Основы лазерного сканирования земли
- <https://www.gsi.ru/art.php?id=694>

# Приоритетное направление фотоники

Разработка и выпуск аппаратуры для технических измерений и диагностики (системы управления производственными процессами и экологического мониторинга) Такая аппаратура, обеспечивающая бесконтактные дистанционные измерения технических параметров (размеры, скорости и ускорения, расходы, вибрации и др.), экспресс – диагностику составов смесей и сплавов, состояния поверхностей, отклонения движений и форм от заданных и многое другое – от задания направлений при монтаже крупногабаритных объектов до анализа наночастиц и реализации технического зрения.

Без такой аппаратуры невозможно обеспечение качества промышленного производства, а в атомной промышленности, химическом производстве и др., - лазерно-оптические технологии просто незаменимы



# Экологический мониторинг

Студент должен знать по ЭМ:

- различные виды дистанционного ЭМ ОС;
- виды контроля антропогенного воздействия на ОС;
- использовать дистанционные методы контроля ОС;
- выбирать методы и СИ для проведения ЭМ;
- оценивать отрицательное антропогенное воздействие на ОС;
- методами оценки антропогенного воздействия па ОС

# Оптический экологический мониторинг

- Исследование атмосферы Земли является сложной многопараметрической задачей, определяемой ее составом (атомарные и молекулярные газы, примеси), сложностью структуры (горизонтальная и вертикальная неоднородность), ярко выраженной временной динамичностью (суточная, сезонная, годовая, широтная и т. д.).
- Основные источники газовых составляющих атмосферы разделяют на естественные и антропогенные. С учетом влияния на экологическое состояние ОС особую роль играют химически активные газовые составляющие, участвующие в фотохимических газовых реакциях, что может приводить к трансгенерации, т.е. образованию вторичных токсичных газовых компонентов



# Виды измерений

- Измерения, проводимые с поверхности Земли, используют, как правило, для определения общего содержания компонента в атмосфере

$$C = \int_0^H C(h) dh, \quad (10.1)$$

- где  $C(h)$  — концентрация детектируемого компонента в слое атмосферы на высоте  $h$ .
- Общее содержание газа в атмосфере часто выражают в атмометрах (атм-м) и в виде произведения относительной объемной концентрации на длину (млн<sup>-1</sup>м)
- Измерения со спутников проводят при входе и выходе из тени Земли, поэтому такой метод называют «метод затменного зондирования».
- Измерения концентраций газов-примесей вблизи источников выброса загрязнений и во всей толще атмосферы можно проводить с использованием широкополосных корреляционных приборов, а также чувствительной аппаратуры высокого и сверхвысокого разрешения.
- Активные спектрально-оптические методы дистанционного анализа газового состава атмосферы основаны на использовании процессов поглощения, рассеяния и флуоресценции, возникающих при прохождении излучения искусственного источника (лампы или лазера) через атмосферу.

# Адсорбционный метод

Лазерный источник излучения обеспечивает адсорбционному методу более широкие возможности, чем обычный (тепловой) источник света. Измерения в приземном слое атмосферы могут проводиться с использованием искусственного отражателя или естественных объектов (элементов рельефа, построек, растительности) в качестве отражателей (интегральный метод).

- Мощность лазерного излучения  $P$ , прошедшего через атмосферу по квазиоднородной трассе и поступившего в приемную систему лазерной установки, равна

$$P = P_0 k K \exp \left\{ -l \left[ k_a(f) + \sum_j \tilde{N}_j \sum_j k_{ij}(f) \right] \right\}, \quad (10.2)$$

- где  $P_0$  — мощность излучения лазера на частоте генерации  $f$ ;  $k$  — коэффициент прочих потерь (из-за неполного перехвата лучей отражателем или приемной системой, а также неполного отражения луча);  $K$  — коэффициент потерь в оптике прибора;  $l$  — длина трассы;  $k_a(f)$  — коэффициент ослабления аэрозолем излучения с частотой  $f$ ;  $k_{ij}(f)$  — коэффициент поглощения  $i$ -й линии  $j$ -го компонента на частоте  $f$ ;  $C_j$  — относительная объемная концентрация  $j$ -го компонента



# Трассовый газоанализатор

- На рис. показан трассовый газоанализатор, принцип действия которого основан на анализе поглощения оптического излучения на специфических для каждого вещества длинах волн.



## Трассовый газоанализатор

- Прибор позволяет:
  - \*измерять до 40 загрязнителей ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{O}_3$ , бензол, толуол, фенол, ксилол и др.);
  - \*одновременно определять до 10 загрязнителей,
  - \* проводить измерение в нескольких точках или на нескольких трассах.

# Методы измерений

- Газоанализатор использует выносной оптический отражатель, который устанавливают на местности на нужном расстоянии и высоте относительно подвижной станции или стационарного поста и от которого отражается зондирующий луч, возвращающийся в газоанализатор.
- Подвижные станции можно использовать для контроля содержания газовых компонентов в газоходах асфальтобетонных заводов, теплоэлектростанций, на автодорогах, мостах, в зоне действия промышленных предприятий, в том числе на металлургических комбинатах, на автодорожных предприятиях, станциях технического обслуживания автомобилей и на других территориях с загрязненным воздухом.
- В последние годы получили распространение приборы для дистанционного исследования атмосферы. Их называют *лидарши*, т.е. оптическими локаторами для дистанционного зондирования воздушных и водных сред



# Лидарные системы

- Они представляют собой совокупность связанных между собой элементов: мощного лазера, оптического телескопа с фотоприемником, устройства управления и отображения информации, блока питания.



- **Лидарные** *а* *б* *в* **обильные**
- системы:
- *а* — космический «Балкан»; *б* — самолетный и корабельный «Атмарил-3»; *в* — малогабаритный «Лоза-М»

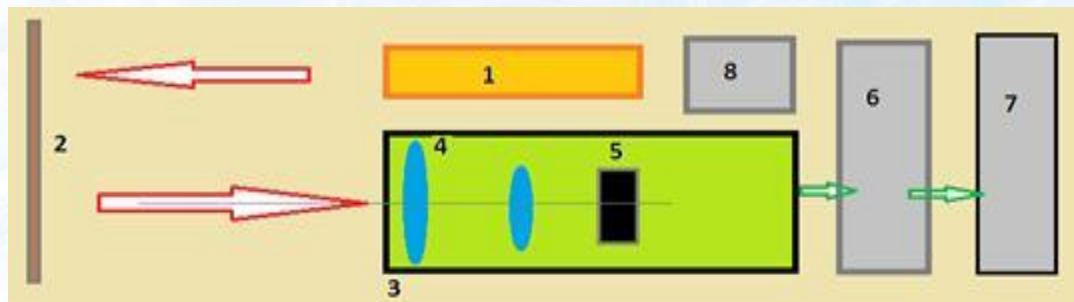
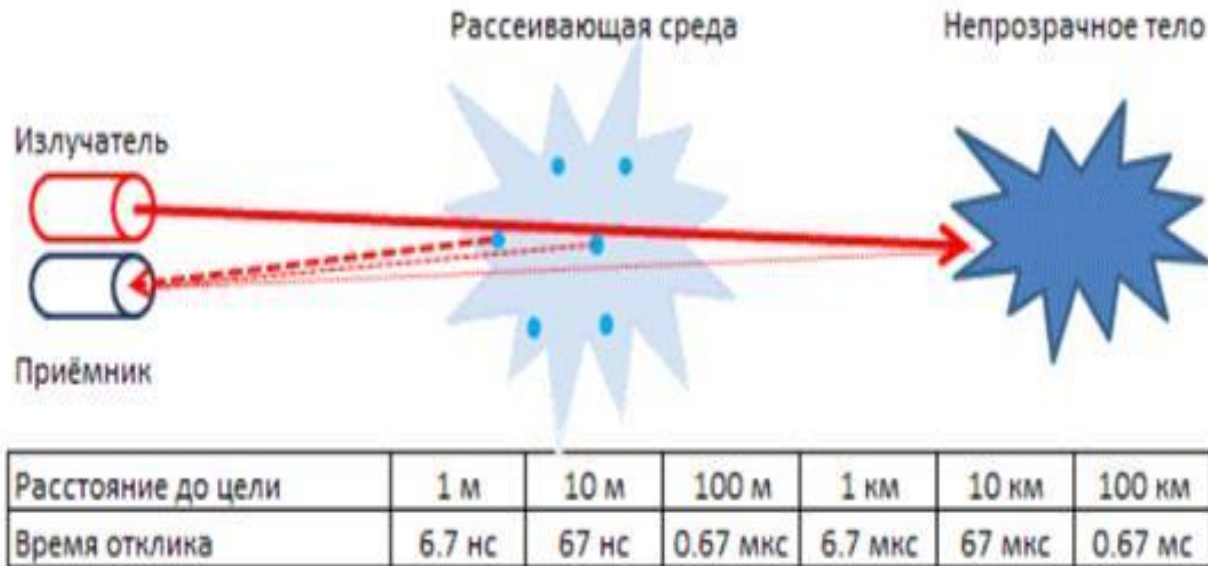
# Принцип действия лидара

- Импульс направленного лазером излучения испытывает рассеяние на аэрозолях и молекулярных компонентах, а также вызывает их флуоресценцию. Излучение, возникшее в некотором ограниченном объеме, распространяется по всем направлениям и регистрируется приемной системой, расположенной рядом с лазером или отнесенной от него на некоторое расстояние. При совмещении выходного и приемного телескопов расстояние до объемов, в которых произошли рассеяние или флуоресценция, определяют по времени задержки между моментами излучения лазерного импульса и прихода его обратного сигнала
- Величину сигнала находят по уравнению лазерной локации

$$P(f_2) = P_0(f_1)KY(R)T_1T_2\beta(R)\frac{IA}{R^2}, \quad (10.3)$$

- где  $P_0(f_1)$  — мощность лазерного излучения на выходе лидара на частоте  $f_1$ ;  $P(f_2)$  — мощность отраженного импульса на частоте  $f_2$ ;  $R$  — расстояние от лидара до изучаемого объема;  $K$  — коэффициент потерь в оптике;  $Y(R)$  — геометрическая функция лидара, равная доле светового потока в поле зрения приемной системы и зависящая от степени перекрытия прямого пучка и поля зрения приемной системы;  $T_1$  и  $T_2$  — функции пропускания атмосферы для прямого и отраженного импульсов;  $l$  — протяженность области, из которой принимается отраженный импульс за время его регистрации;  $A$  — площадь апертуры приемного телескопа;  $\beta(R)$  — объемный коэффициент обратного рассеяния или флуоресценции





Общая структурная схема простейшего лидара (1-лазер, 2-объект, 3- блок приёмника, 4- оптическая система ПОИ(телескопическая система), 5-ПОИ, 7-блок обработки и анализа, 7-блок вывода информации, 8- блок управления лазером

# Применение лидаров

Лидары широко применяют для измерения параметров атмосферы: влажности, температуры, прозрачности, концентрации газовых и аэрозольных компонентов, скорости ветра, верхней и нижней границ облачности, а также для определения качества воды водоемов, поиска полезных ископаемых, предсказания землетрясений и т.д.

Лазерное зондирование атмосферы по сравнению с другими методами дистанционного зондирования (радиолокационное, акустическое) дает большую дальность зондирования (в атмосфере, например, до нескольких десятков километров), более высокое пространственное разрешение (до долей метра) и оперативность (время измерения — менее одной секунды).

- Несмотря на тот факт, что аэрозоли составляют не более 10 % от общей массы антропогенных загрязнителей атмосферы, потенциальный ущерб от этого типа загрязнителей, которые, как правило, представляют собой сильные токсиканты, существенно больше. **«Атмосферные» лидары** способны не только определять расстояния до непрозрачных отражающих целей, но и анализировать свойства прозрачной среды, рассеивающей свет. Разновидностью атмосферных лидаров являются **доплеровские лидары**, определяющие направление и скорость перемещения воздушных потоков в различных слоях атмосферы



# Атмосферные лидары

- В качестве примера рассмотрим современную методику многоволнового лазерного дистанционного анализа опасных загрязнений атмосферы. Особенность заключается в том что лазерные источники могут одновременно генерировать излучение на нескольких длинах волн в одном направлении. Это позволяет:
  - проводить обнаружение и измерение концентраций нескольких компонент опасных примесей (до 6) одновременно в реальном масштабе времени;
  - существенно повысить точность измерения концентрации опасных примесей за счет уменьшения влияния временных флуктуаций принимаемого сигнала, обусловленных турбулентностью атмосферы
- В многоволновом лидаре в качестве базовых лазерных систем применяются импульсно-периодические лазеры на  $\text{CO}_2$  и изотопах молекулы  $\text{CO}_2$  (диапазон 9-11 мкм), а также могут использоваться их вторые (диапазон 4.5-5.5 мкм) и третьи (диапазон 3.0-3.4 мкм) гармоники, полученные при преобразовании частоты излучения базовых лазеров в нелинейных кристаллах типа  $\text{AgGaSe}_2$  или  $\text{ZnGeP}_2$  с эффективностью преобразования 5-10%.

# Задачи решаемые лидарами

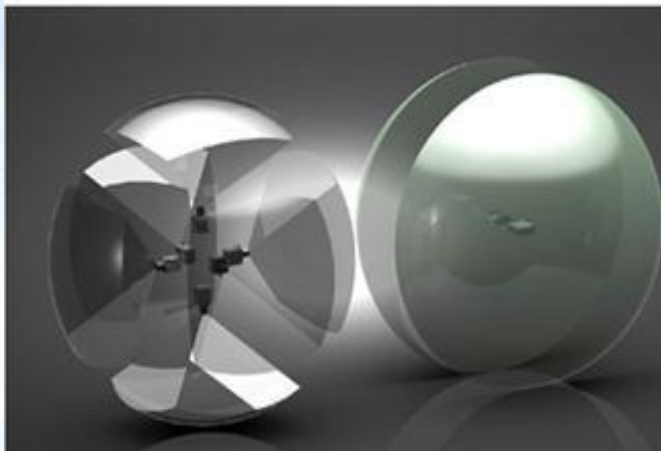
- **Исследования атмосферы**
- **Измерение скорости и направления воздушных потоков.**

Применения наземного доплеровского лидара для таких измерений дано в 80-е г. В 2001 Alcatel предложил размещение лидаров на борту спутников, так, что «созвездие» спутников на орбите способно отслеживать движение воздушных масс в рамках целого континента, а в потенциале — на Земле в целом.

- **Измерение температуры атмосферы.**
- **Раннее оповещение о лесных пожарах.** Лидар на мачте или холме выявляет дымы по аномалиям, порождаемым частицами горения, изменению химического состава и прозрачности воздуха и т. п.
- **Исследования Земли.** Первый полноценный орбитальный лидар был выведен на орбиту NASA в декабре 1994 года в рамках программы LITE (Lidar In-Space Technology Experiment).
- **Космическая геодезия**
- **Авиационная геодезия.** Для топографической съёмки морского побережья. Группе ученых из Хьюстонского университета удалось найти в джунглях Гондураса легендарный Золотой город.



- **Строительство** — обмеры зданий, контроль отклонения плоскостей стен и несущих колонн от вертикали (в том числе в динамике), анализ вибраций стен и остекления. Обмеры котлованов, создание трёхмерных моделей стройплощадок для оценки объёмов земляных работ.
- **Архитектура** — построение трёхмерных моделей городской среды для оценки влияния предлагаемых новостроек на облик города
- **Измерение глубины моря.** Для этой задачи используется дифференциальный лидар авиационного базирования. Красные волны почти полностью отражаются поверхностью моря, тогда как зелёные частично проникают в воду, рассеиваются в ней, и отражаются от морского дна.
- **Поиск рыбы.** Можно обнаруживать признаки косяков рыбы в приповерхностных слоях воды. Поиск рыбы лёгкими самолётами, оборудованных лидарами, как минимум на порядок дешевле, чем с судов, оборудованных эхолотами.
- **Системы машинного зрения** ближнего радиуса действия для роботов, основанные на сканирующем лидаре IBM, формируют цилиндрическую развёртку с углом охвата горизонта  $360^\circ$  и вертикальным углом зрения до  $+30..-30$
- **Военные технологии.** Здесь лидары выполняют функции оптико-локационной локации, разведки, наведения на цель итп.



Обнаружитель атакующих ракет (ОАР), Оптико-локационная станция ОЛС-35



# Оценка энергоресурсов биомассы леса методом лазерной локации

Получение достоверной и оперативной информации о лесных ресурсах и их энергетических показателях (биомасса, углерод лесной растительности), является актуальной задачей, как с природоресурсной, так и с экологической, природоохранной точек зрения. В решении этой задачи в последние годы в развитых странах мира и в России все активнее используется лазерная локация и цифровая аэросъемка, которые представляют собой важнейшую составляющую геоматики — нового интегрального направления развития методов дистанционного зондирования Земли (аэро- и космической съемки), геоинформационных технологий, цифровой фотограмметрии и картографирования, спутникового геопозиционирования и телекоммуникаций.



# Картографирование лесных и сельскохозяйственных земель

- **Современные авиационные лазерно-локационные системы интенсивно развиваются и на сегодняшний день имеют частоту сканирования более 200 тыс. импульсов (измерений) в секунду. Наибольшая плотность точек сканирования при этом составляет 1 точка на 5-7 см поверхности, а точность измерения геометрических параметров наземных объектов и морфоструктурных элементов растительности в плановой и профильной проекциях составляют порядка 5-10 см. Точность спутникового позиционирования контуров линий и границ земельных участков, лесных выделов, пробных площадей, отдельных деревьев и морфоструктурных элементов их стволов и крон, в том числе и в подпологовом пространстве, практически не ограничена и определяется техническими характеристиками приемных устройств**





# Лазерные агротехнологии

# Приоритетное направление фотоники

## Лазерно-оптическое оборудование для сельского хозяйства и ветеринарии.

Россия имеет уникальные разработки в области лазерных агротехнологий, лазерной биостимуляции в растениеводстве (повышает урожайность, увеличивает засухоустойчивость и болезнестойкость растений), использования низкоинтенсивного ЛИ для лечения и профилактики болезней крупного рогатого скота, птицы, свиней.

Все они прошли испытания и подтвердили высокий эффект, но их массовое освоение в стране не происходит из-за малой инновационной активности сельхозпредприятий, а также мощного противодействия транснациональных компаний – производителей химудобрений и ядохимикатов для сельского хозяйства, фармпродукции для ветеринарии. Производство лазерной продукции для сельского хозяйства и ветеринарии в России должно дать большой экономический и экологический эффект .



# Направления лазерной агротехнологии

- **Лазерные технологии в растениеводстве**

- \* Механизм действия лазерного излучения...
- \* Критерии оптимальных параметров лазерной терапии
- \* Возможные пути действия низкоинтенсивного лазерного излучения на мембранные структуры в клетках растений
- \* Исследование эффекта лазерного облучения семян на развитие и продуктивность некоторых сельскохозяйственных культур .
- \* Повышение функциональной активности репарационной системы генома яблони домашней, барбариса обыкновенного, ирги колосовидной под влиянием когерентного электромагнитного излучения.

## **Практическое применение лазеров в растениеводстве**

- Лазерная стимуляция в растениеводстве; способы и технологические приемы облучения.
- Лазерная технология вегетативного размножения растений
- Применение лазера в селекции косточковых культур
- Разработка технологии лазерного облучения плодов и ягод в послеуборочный период

# Направления лазерной агротехнологии

- **Новые методы лазерной диагностики растений**
- Применение лазерной фотоакустики для измерения эмиссии этилена листьями огурца, пораженными мучнистой росой.
- Лазерные методы функциональной диагностики растений

## **. Лазерные технологии в животноводстве**

- Новые технологии содержания и выращивания животных, основанные на использовании лазеров и биостимуляторов.
- Лазерные аппараты серии «СТП» и опыт их использования в животноводстве и птицеводстве

Феномен: «лазерной стимуляции» заключается в повышении функциональной активности живых организмов под воздействием света с высокой когерентностью. Это позволит сократить применение гормональных препаратов и пестицидов, повысить продуктивность и экологическую устойчивость многих сельскохозяйственных культур и животных, улучшить качество получаемой продукции.

В растениеводстве лазеры применяются для предпосевной обработки семян, досветки овощных культур в закрытом грунте, облучения вегетирующих растений.



# Лазерная агротехнология в садоводстве

Ученые Мичуринского аграрного университета, Тамбов) изменили взгляд о лазерной стимуляции растений: разработали новый метод, направленный на улучшение роста и качества сельскохозяйственных культур.

Лазер не меняет структуры или генетики растительной клетки, а лишь усиливает внутриклеточные процессы. Когерентность фаз испускания световых фотонов улучшает регуляцию жизненного цикла растения, благодаря чему оно быстрее растет, реже болеет и при этом не накапливает химического загрязнения.

Химические гиганты лоббируют свои интересы в структурах, влияющих на экономическую политику государства. Они кровно заинтересованы в том, чтобы аграрный рынок не имел альтернативы их пестицидам и удобрениям.

Ученые доказали, что облучение черенков роз лазерными лучами зеленого цвета с длиной волны 500-530 нм и мощностью 50-60 мВт/см<sup>2</sup> в течение 1-5 мин. добавит розовым кустам пышности и красоты

# Кубанские ученые растят пшеницу с помощью биолазера

Использование лазерного излучения (на длине волны  $\lambda=650$  нм) в возделывании пшеницы повышает интенсивность фотосинтеза и усиливает устойчивость к ряду опасных заболеваний, что позволяет отказаться от химических фунгицидов



Лазерная установка способна обрабатывать как семена, так и вегетирующие растения. Обработка растений происходит путем фиксирования установки на трактор и объезда поля по периметру, радиус полезного действия луча составляет 400 м. Лазерный агроприем является экологически безопасным, энергосберегающим и экономически оправданным. Хозяйство может в два раза снизить свои затраты на применение фунгицидов. Лазерные обработки семян и растений озимой пшеницы позволяют повышать урожайность до 7 центнеров с гектара в зависимости от вида и степени поражения болезнями. Против таких болезней, как желтая ржавчина и пиренофороз, лазерная технология борется не хуже, чем фунгицид «Альто супер»