



Мощные импульсные полупроводниковые лазеры: физические основы и практическое применение

Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Центр физики наногетероструктур

*Лаборатория «Полупроводниковой Люминесценции и Инжекционных
Излучателей»*

Демонстрационный материал разработан при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013, соглашение 8694

Лазер — это квантовый генератор (усилитель) оптического излучения.
Сам термин (LASER) - англоязычный и расшифровывается так:

Light
Amplification by
Stimulated
Emission of
Radiation

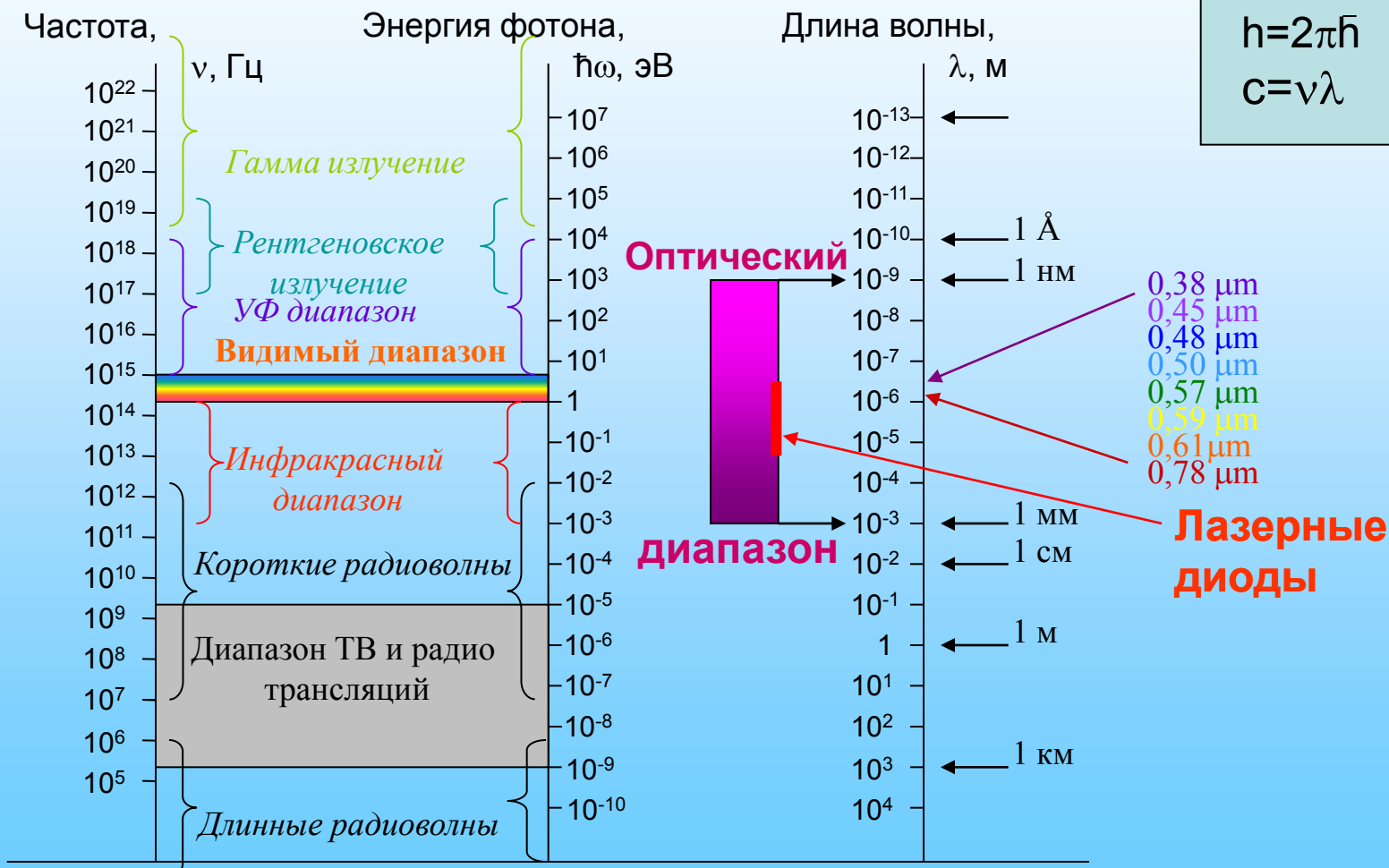
"усиление света с помощью вынужденного излучения" .

Электромагнитные волны

$$E = h\nu = \hbar\omega$$

$$h = 2\pi\hbar$$

$$c = \nu\lambda$$



Основные определения

Оптическое излучение – электромагнитное излучение оптического диапазона. Оптический диапазон спектра составляют электромагнитные колебания, длина волны которых лежит в пределах **от 1 мм до 1 нм**. Внутри оптического диапазона выделяют видимое ($\lambda=0,38...0,78$ мкм), инфракрасное ($\lambda=0,78...1000$ мкм) и ультрафиолетового ($\lambda=0,001... 0,38$ мкм) излучения.

Световые волны – электромагнитные волны оптического диапазона.

Монохроматическое излучение – оптическое излучение, характеризующееся какой-либо одной частотой (одной длиной волны) световых колебаний.

Квантовый усилитель – усилитель электромагнитных волн, основанный на использовании вынужденного излучения.

Квантовый генератор – источник когерентного излучения, основанный на использовании вынужденного излучения.

Схема лазера (квантового генератора):

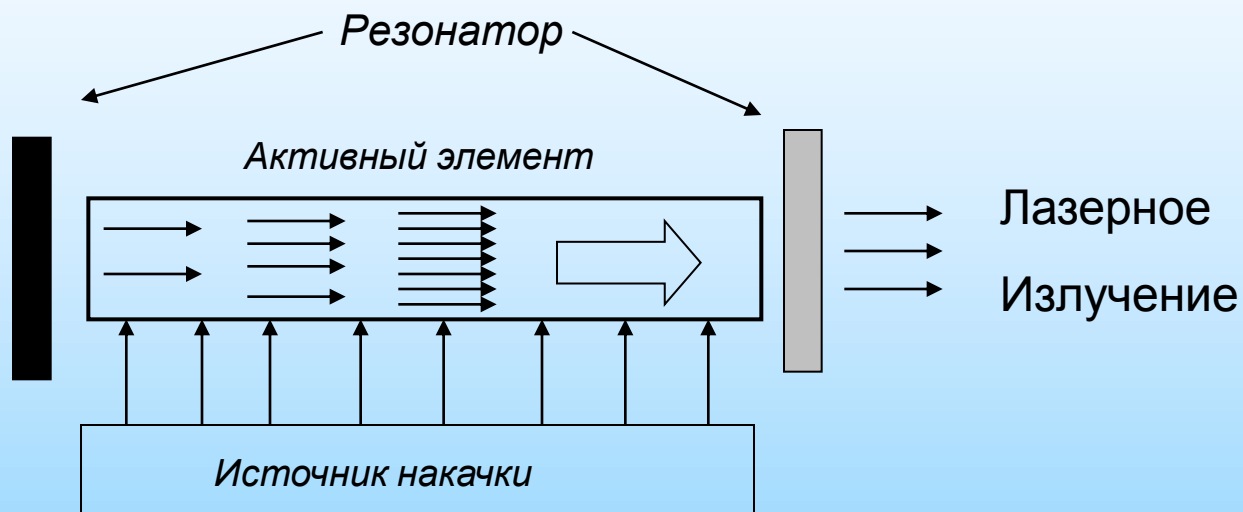
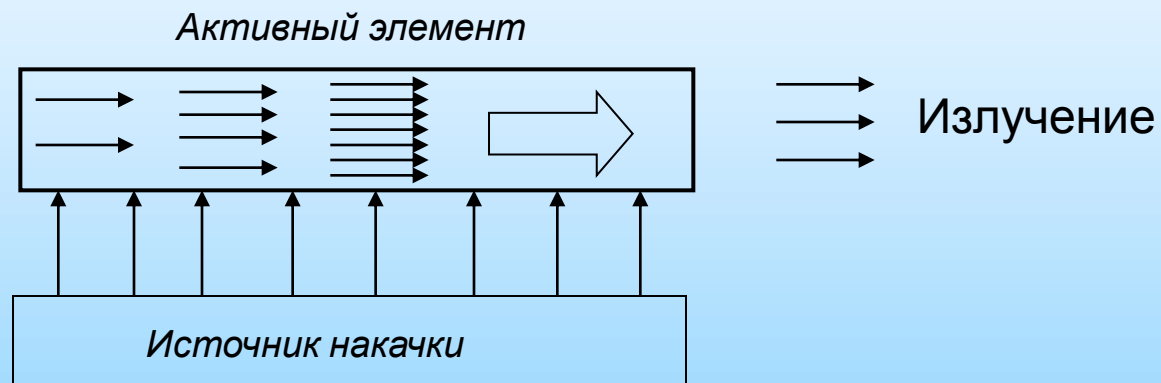


Схема квантового усилителя:



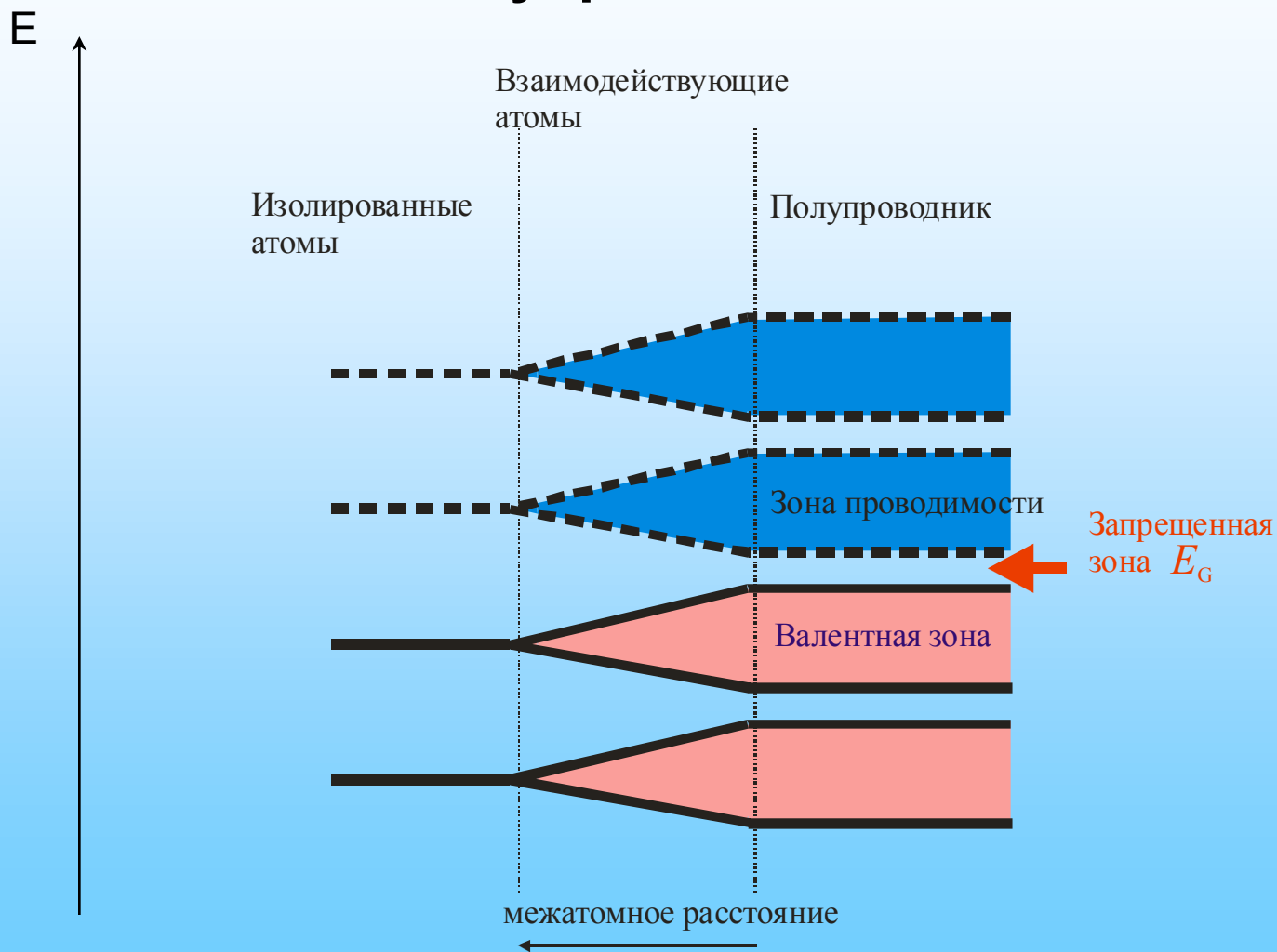
Полупроводниковые лазеры

$(\lambda = 0.65 - 2 \text{ мкм})$



Физико-Технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН
Лаборатория “Полупроводниковой люминесценции и инжекционных излучателей”

Полупроводники



ПОЛУПРОВОДНИКИ

ПОЛУПРОВОДНИКИ — это вещества, которые обладают электронной проводимостью, причем по удельной электрической проводимости занимают промежуточное положение между металлами и диэлектриками. Проводимость *полупроводника* может контролируемо изменяться в широких пределах за счет:

- освещения, тогда говорят о фотопроводимости *полупроводника*;
 - легирования — примесная проводимость *полупроводника*;
 - изменения температуры — собственная или, в случае легирования, примесная проводимость *полупроводника*;
 - инъекции неравновесных носителей заряда.
-

Основные определения

Нанотехнология — это технологии производства материалов и устройств с определяющими их свойствами элементами, размеры которых находятся в пределах от 1 до 100 нанометров.

Наногетероструктуры - это наноструктуры, сформированные из двух или более гетероструктур.

Размеры, принадлежащие нанодиапазону, может иметь всего одна часть гетероструктуры. Примерами наногетероструктур являются квантовые ямы, проволоки, точки, сверхрешетки, а также их комбинации.

Наноэлектроника — это область техники, занимающаяся разработкой, производством и применением электронных приборов, основные рабочие компоненты которых имеют размеры 1-100 нм. Наноэлектроника, как область физики, — это наука об электронных процессах в средах, имеющих характерные размеры в нанометровом диапазоне.

ГЕТЕРОСТРУКТУРА - это, в общем случае, две разных структуры, соединенные в одну. Известно множество примеров *гетероструктур*, наиболее важным с исторической точки зрения является *гетероструктура GaAs/AlGaAs*. Особенная историческая роль именно этой гетероструктуры связана с тем, что данные материалы имеют одинаковый тип кристаллической структуры, а параметры кристаллической решетки очень близки. Данные условия позволяют выращивать гетероструктуру эпитаксиальными методами без образования структурных дефектов, что и было использовано, когда с помощью именно этой гетероструктуры были впервые синтезированы низкопороговые полупроводниковые лазеры на двойной гетероструктуре,

Гетеропереход - это граничный слой, разделяющий две части гетероструктуры.

Алферов

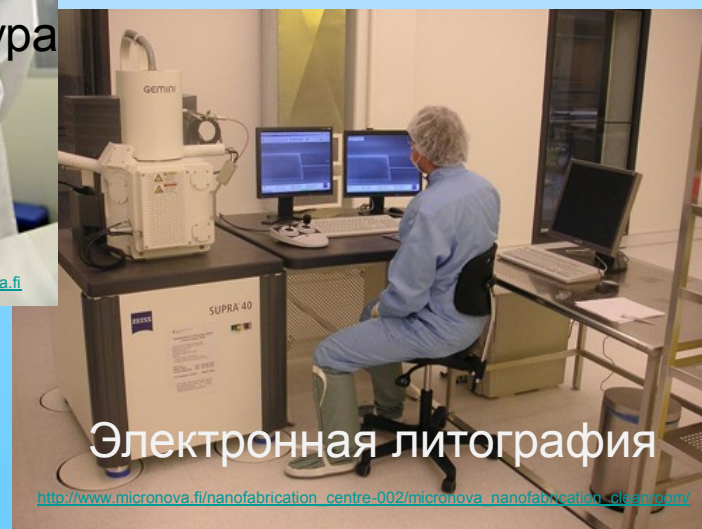
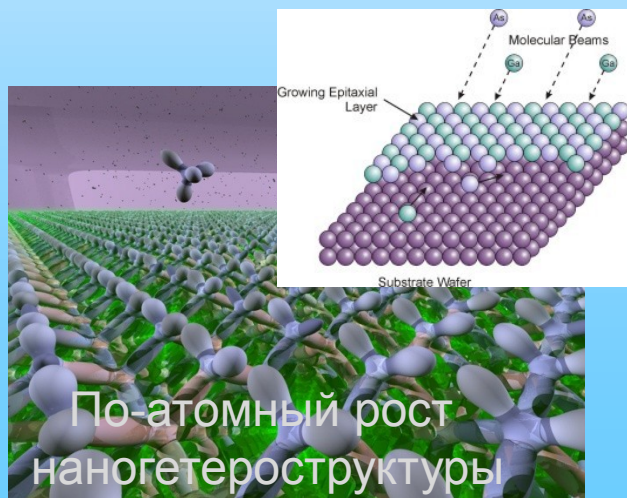
Жорес Иванович

Нобелевская премия по
физике 2000 года



«За фундаментальные исследования в сфере информационных и коммуникационных технологий и разработки полупроводниковых элементов, используемых в сверхбыстрых компьютерах и оптоволоконной связи»

Создание полупроводниковых наногетероструктур для мощных лазерных диодов



Исследования лазерных наногетероструктур

Рентгеновские методы диагностики



Методы диагностики электрофизических параметров



Подготовка образцов



Методы электронной и зондовой микроскопии

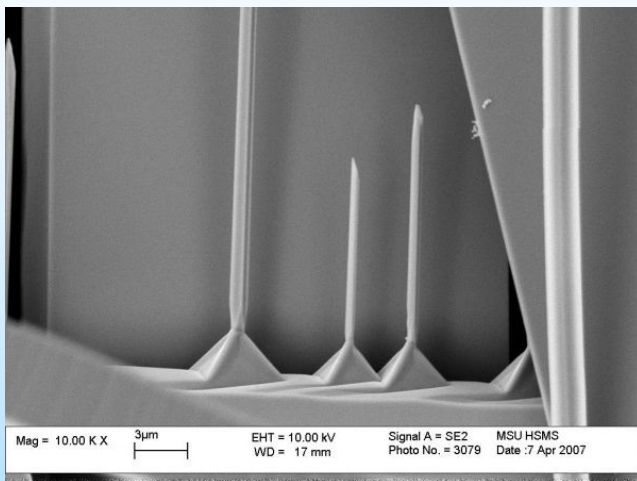


Методы анализа поверхности

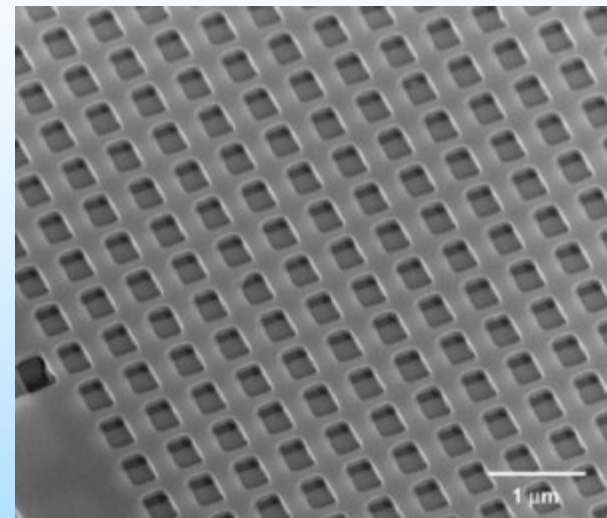


Различные типы наногетероструктур

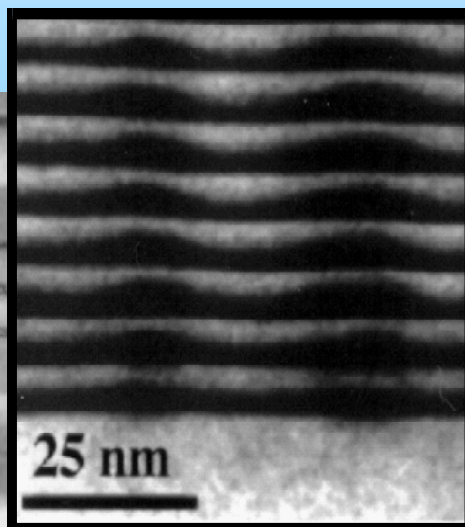
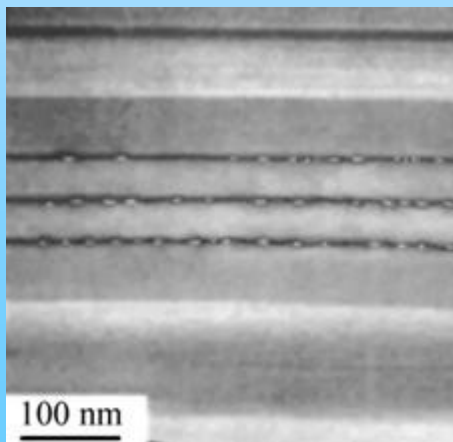
Нановискеры



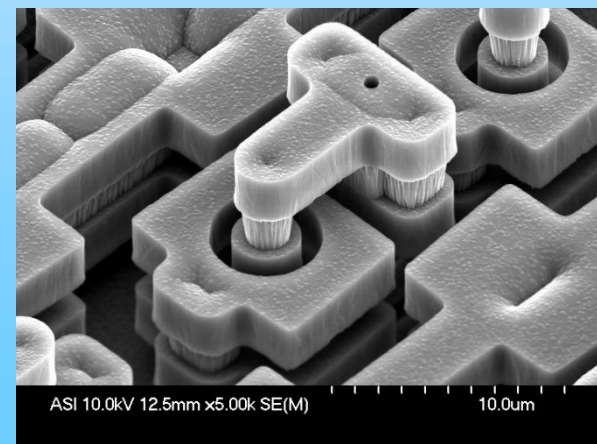
Фотонные кристаллы



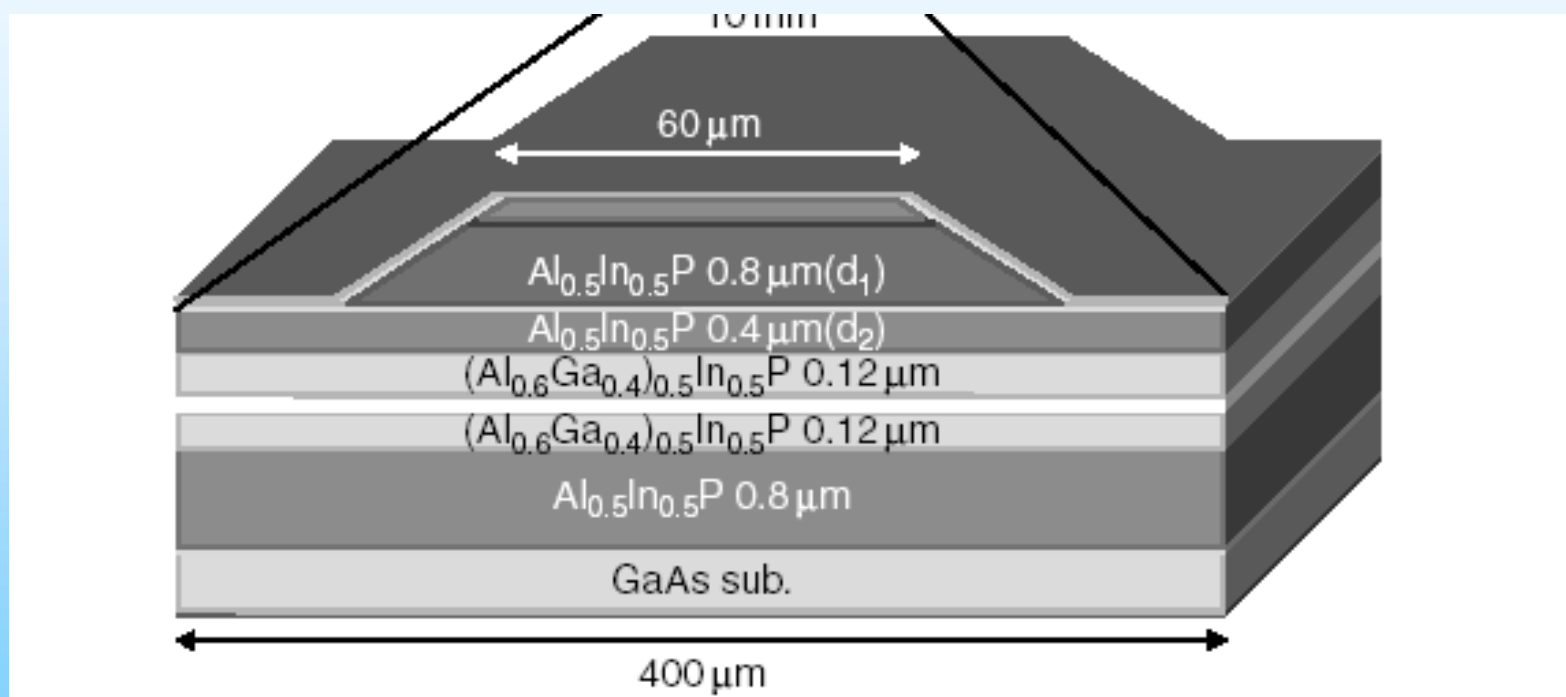
Квантовые точки



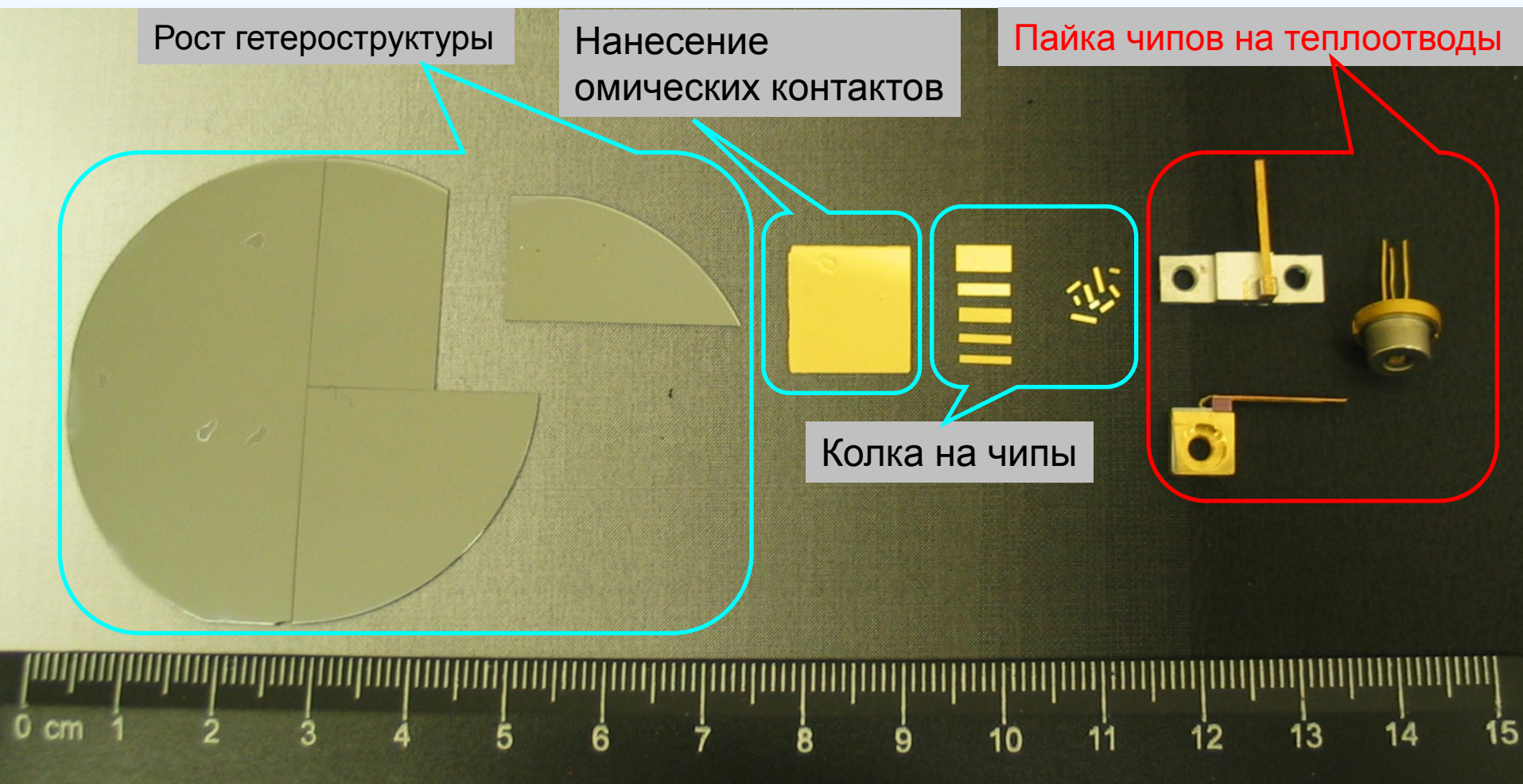
МИКРО-ЭЛЕКТРО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



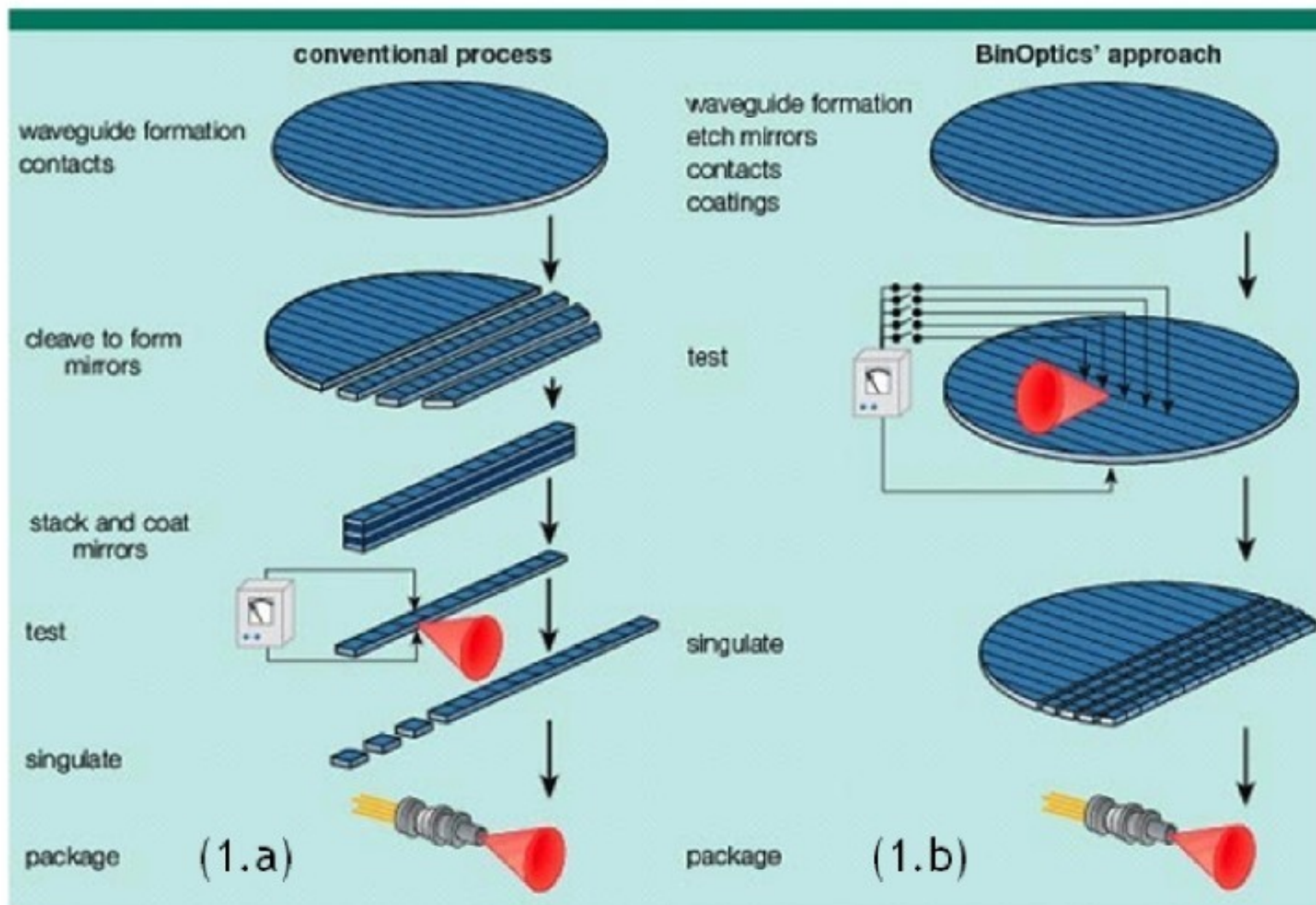
Кристалл диодного лазера на основе гетероструктуры



Этапы изготовления лазерных диодов



Процесс изготовления полупроводниковых лазеров и линеек

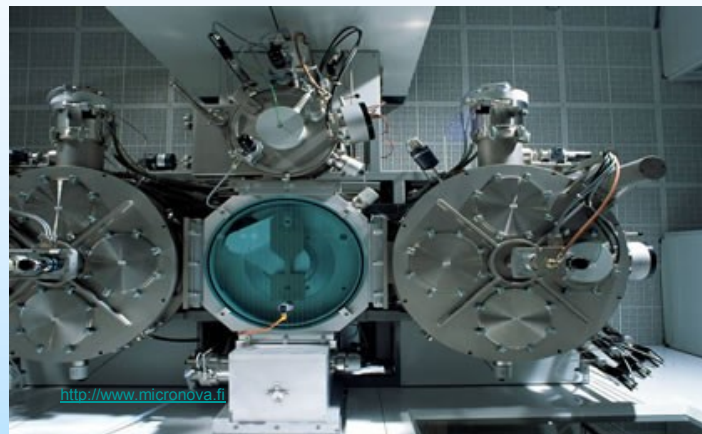


Процесс изготовления полупроводниковых лазеров и линеек

Кассета с гетероструктурами



Изготовление рисунка



Тестирование гетероструктур

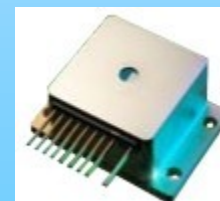
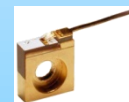


Тестирование лазеров

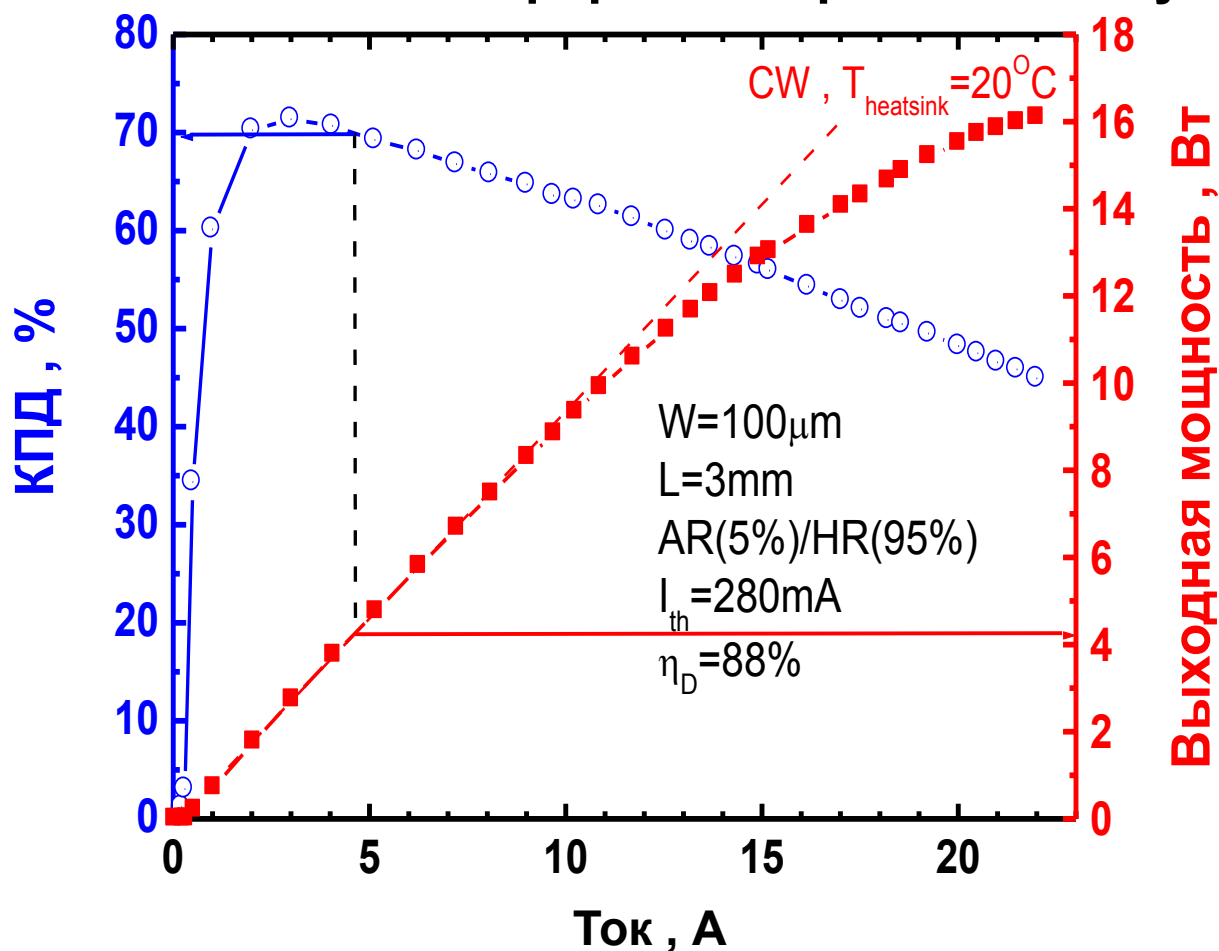


Преимущества полупроводниковых лазерных диодов

- Прямое преобразование электрической энергии в световую
- **Высокая эффективность преобразования электрической энергии в оптическую (КПД) (*теоретически КПД = 1*)**
- Высокая прочность
- Возможность производства многих лазеров за один технологический процесс
- Малые габариты – компактность обусловленная большим g в п/п
- Простота конструкции
- Широкий диапазон длин волн генерации (0.3-30 мкм)
- Плавная перестройка длины волны генерации
- Малоинерционность
- Высокая надежность (ресурс до 100 000 часов)
- Низкая цена



Ватт – амперная характеристика и зависимость КПД от тока накачки для InGaAs/AlGaAs/GaAs лазерного диода в непрерывном режиме возбуждения



Непрерывный режим

$W = 100\mu\text{m}$

$\lambda = 1.09\mu\text{m}$

$P=16\text{ W}$

КПД = 74 %

$R_s = 24\text{ m}\Omega$

$R_t = 4\text{ }^\circ\text{C} / \text{W}$

Основные применения:

- Телекоммуникации
- Метрология (локация, контроль волокна, дальнометрия)
 - **Накачка волоконных и твердотельных лазеров**
 - Медицина (терапия, акупунктура, микрохирургия)
- Технологические процессы (резка и сварка металлов, гравировка)
- Военная промышленность (приборы ночного видения, дистанционные пускатели)



Типы конструкций лазерных диодов



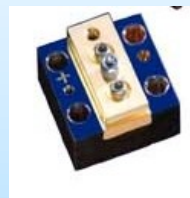
До 1 Вт



До 20 Вт



До 20 Вт



До 500 Вт



До 5000 Вт

- Накачка волоконных лазеров



до 100 кВт

- Накачка твердотельных лазеров



до 6 кВт

- Волоконные оптические модули



до 100 Вт

Применение полупроводниковых лазеров

Медицина:
лазерный скальпель
терапия



Обработка материалов:
резка металла
сварка



Оптоволоконные линии связи



Боевые лазеры



Суперкомпьютеры



Добро пожаловать !



Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Центр физики наногетероструктур

Лаборатория «Полупроводниковой Люминесценции и Инжекционных Излучателей»

ул. Политехническая, д.26 (ст. метро «Политехническая»)