



# ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. А.П.Менушенков, В.Н.Неволин, В.Н.Петровский Физические основы лазерной технологии. М.: НИЯУ МИФИ, 2010, 210 стр..
2. У.Дьюли Лазерная технология и анализ материалов. М.: Мир, 1986.
3. Н.Н.Рыкалин, А.АУглов, И.В.Зуев, А.И.Кокора Лазерная и электронно- лучевая обработка материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1985.
4. А.А.Веденов, Г.Г.Гладуш Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.:Энергоатомиздат, 1985.
5. А.С.Цыбин Физические основы плазменной и лазерной технологий. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2002.

### Дополнительная

1. Г.А.Абильсиитов, Е.П.Велихов, В.С.Голубев Мощные газоразрядные СО<sub>2</sub> лазеры и их применение в технологии. М.: Наука, 1984.
2. Дж.Реди Промышленные применения лазеров М.: Мир, 1981.

# ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Лазерной технологией принято называть лишь одну, но довольно обширную область технических применений лазеров - обработку материалов действием лазерного излучения.

Ныне на мировом рынке ежегодный объем продаж лазеров для обработки материалов составляет около \$2000,000,000, то есть 20% всего объема рынка лазеров.



# Лазеры для обработки материалов

Лазеры на кристаллах с Nd и Cr

Лазеры на стеклах с Nd и Yb

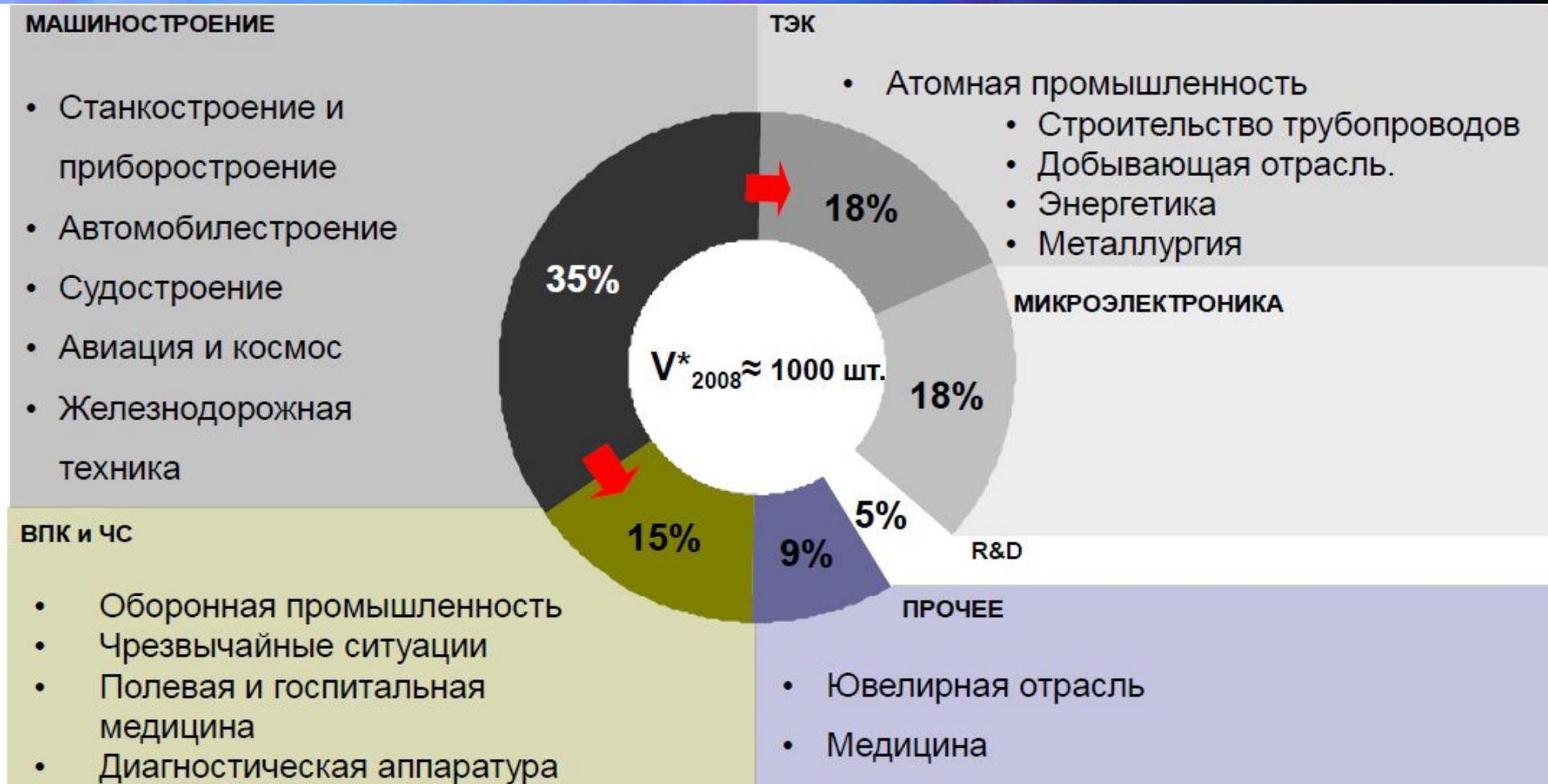
Газовые лазеры на  $\text{CO}_2$  и CO

Газовые эксимерные лазеры на Kr-F и Ar-F

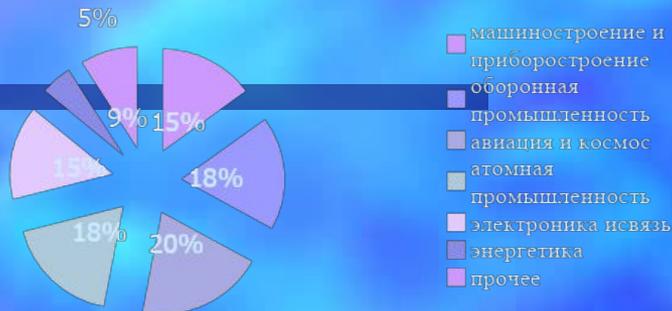
Лазеры на стекловолокне с Yb ( $\lambda=1.05$  мкм),  
Er ( $\lambda=1.55$  мкм), и другими редкоземельными  
Новые лазеры:  
ионами

Инжекционные полупроводниковые лазеры -  
мощные однокристалльные  
и многоэлементные (решетки)

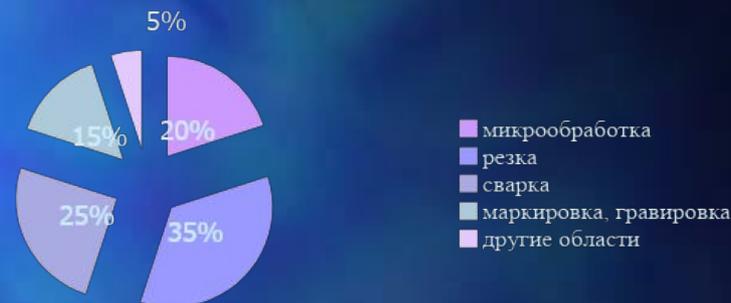
# Основные потребители лазерной технологии



Распределение спроса на лазерные технологические системы по отраслям\*

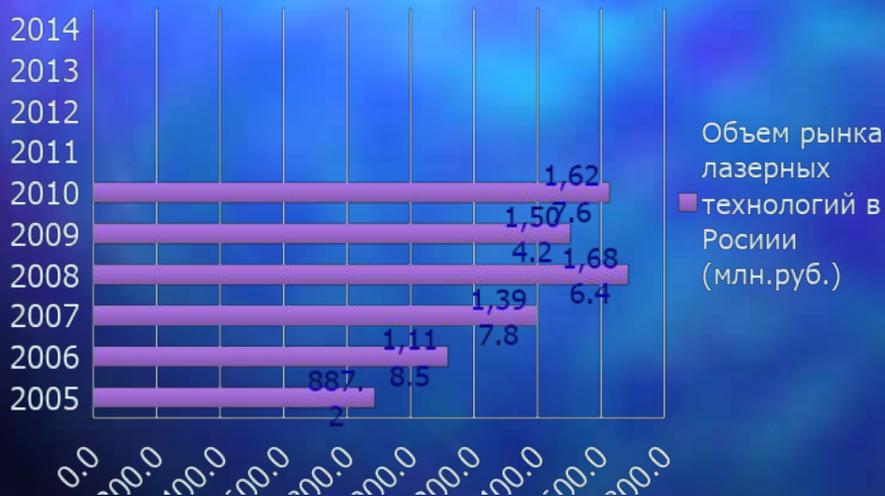


Распределение спроса на лазерные технологические операции по основным технологическим операциям\*



## Участники

### рынка



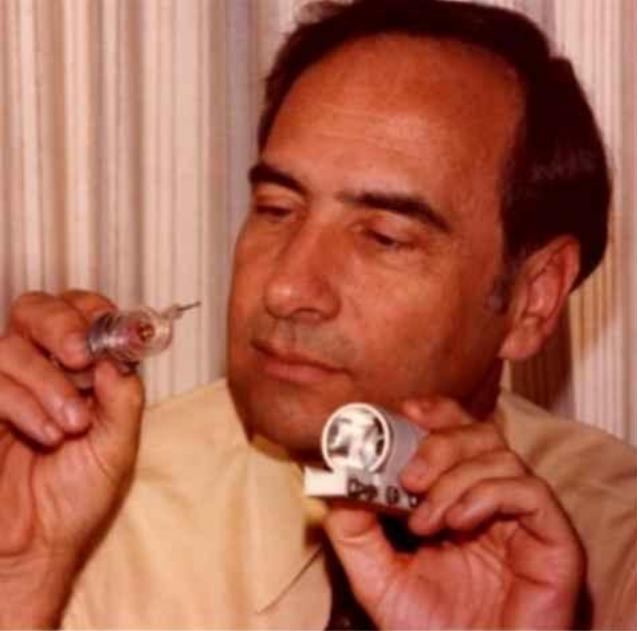
Лазеры отечественного производства занимают 75-80% российского рынка в денежном выражении и всего около 10% — в натуральном, остальная часть потребления приходится на зарубежную продукцию.\*\*

Преимущественная доля зарубежной продукции в общем объеме рынка в натуральном выражении объясняется большим объемом импорта дешевых лазерных диодов из Малайзии

Относительно низкая доля импорта в денежном выражении связана с небольшим объемом поставок в Россию неполупроводниковых лазеров. Лазеры такого типа ввозятся в Россию преимущественно в составе конечной продукции, т.е. в виде лазерного оборудования, а для российского производства используются, в основном,

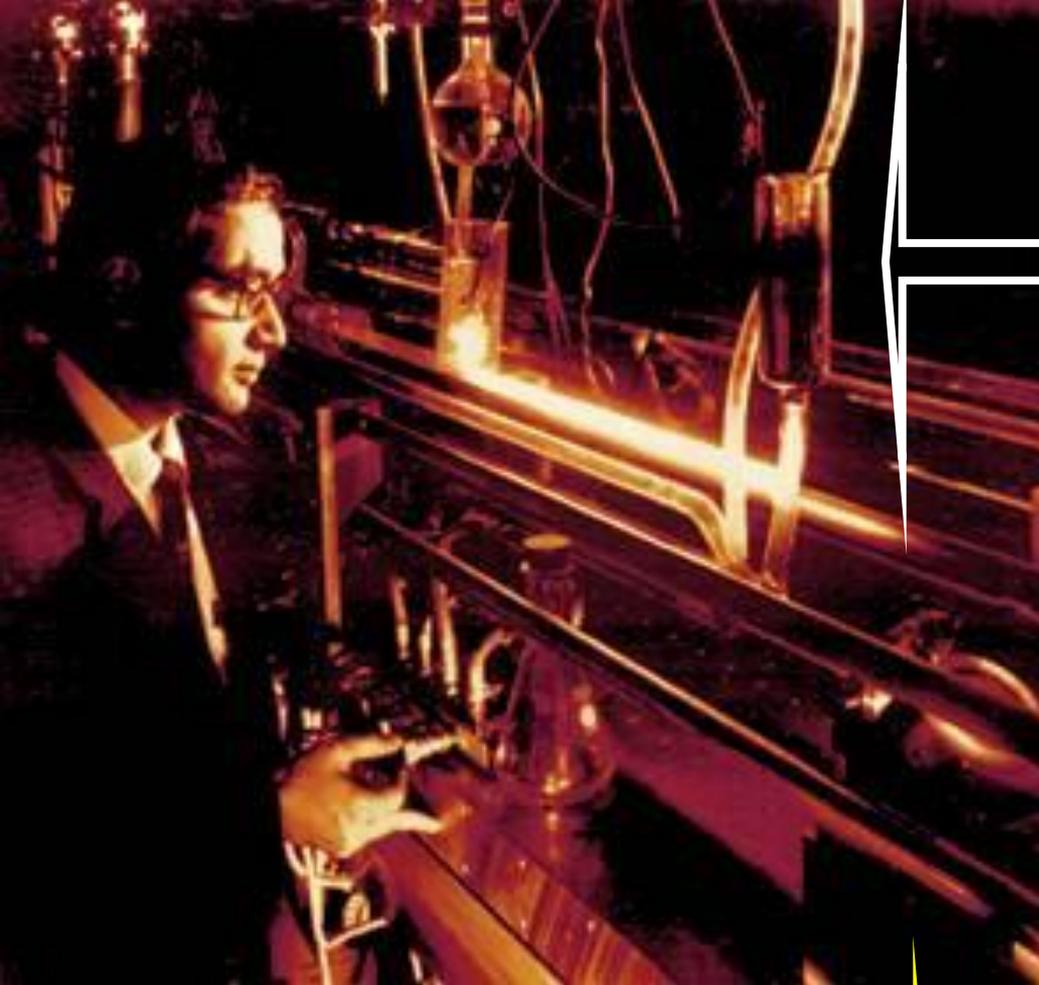
\* - по данным портала Ремонт Инновации Технологии Модернизация ([www.rimtech.ru](http://www.rimtech.ru)) в виде количества запросов на лазерное оборудование, поступивших в 2007-2009 гг.)

\*\* - по данным журнала «ТехСовет» (<http://www.tehsovet.ru>)



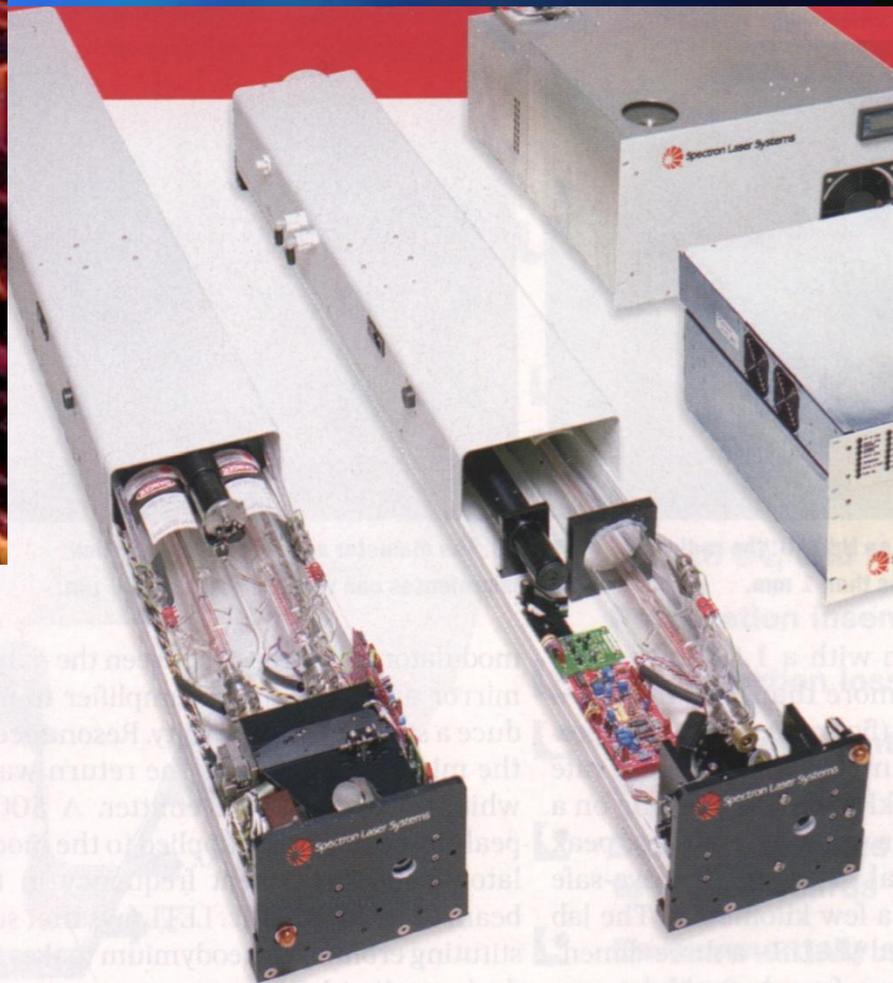
Американский физик Теодор Мейман.  
В 1960 г. ему удалось получить  
на рубине ( $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ ) лазерное излучение.  
Так выглядели детали первого лазера





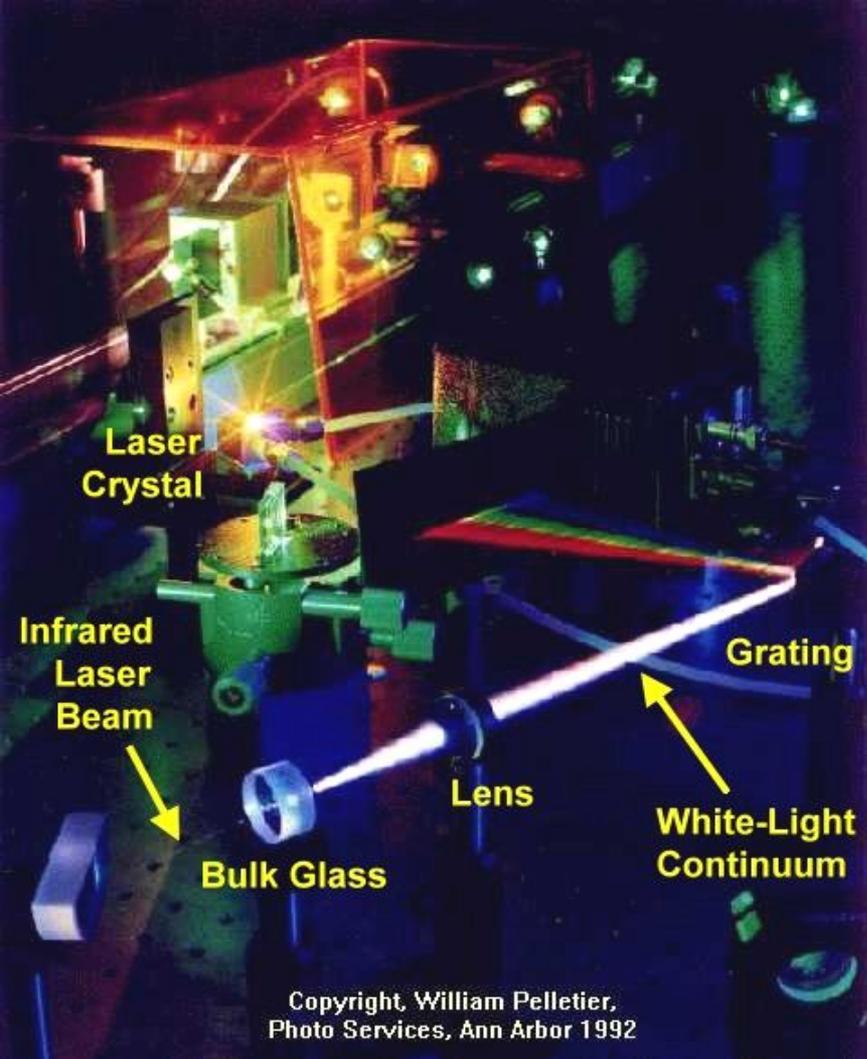
1964: С. Пател показывает  
мощный  $\text{CO}_2$  лазер на  
длине волны 10.6 мкм

Современные  $\text{CO}_2$  лазеры  
технологического назначения  
Их мощность - десятки ватт



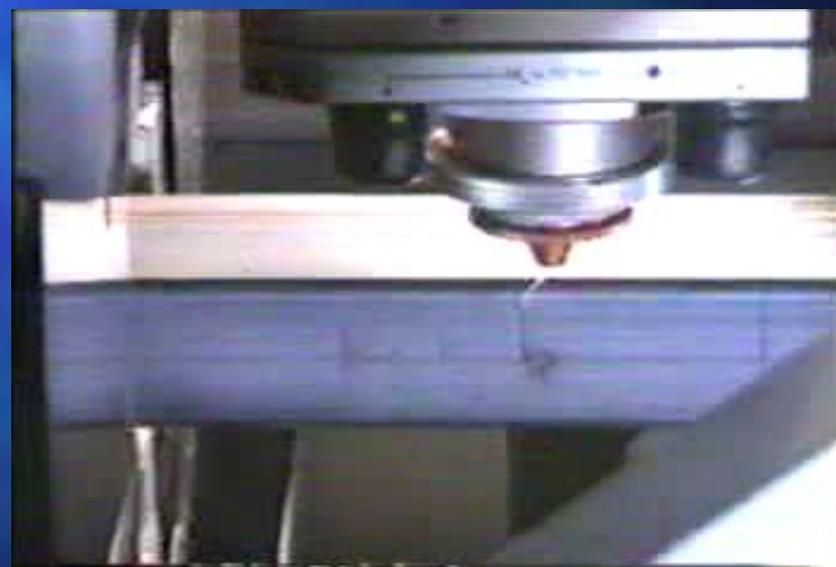
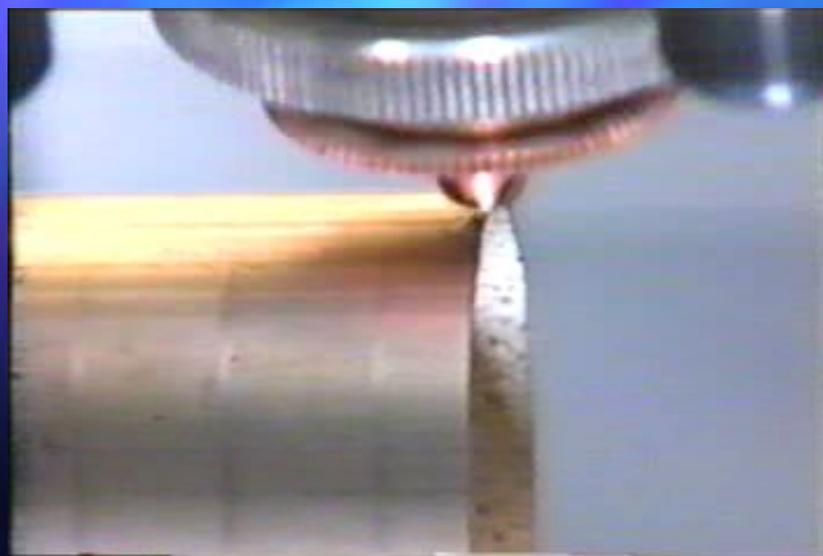
# ФЕМТОСЕКУНДНЫЕ ИМПУЛЬСЫ

Пиковые мощности и плотности потока энергии в лазерных импульсах длительностью в несколько десятков фемтосекунд превосходят все пределы сопротивления любого земного вещества. Применение фемтосекундных лазеров открывает для лазерной технологии новые возможности, особенно в точной размерной обработке микродеталей



Пригодный для лазерной микротехнологии фемтосекундный лазер свободно уместается на столе





В производстве более половины промышленной продукции в мире участвуют лазеры

Лазерная резка пригодна для раскроя листов металла толщиной в десятки миллиметров.





Образец лазерной резки (без  
дополнительного вдува газа)  
стали X18H9T толщиной 20 мм  
на установке МЛТК-50.  
Мощность излучения – 25 кВт,  
скорость резки – 3 мм/с,  
дистанция – 50 м.



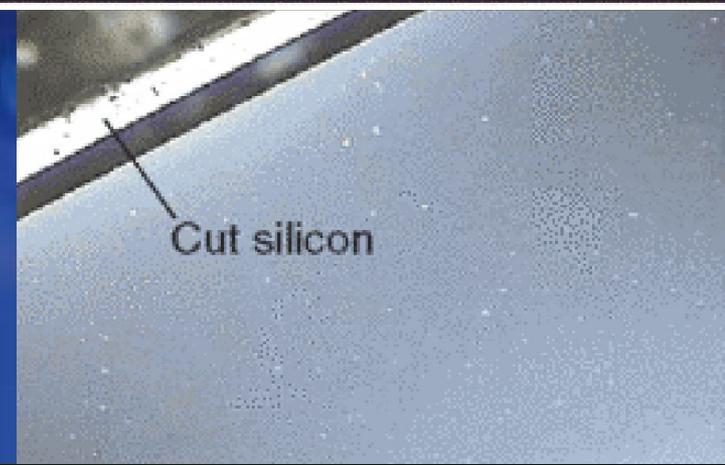
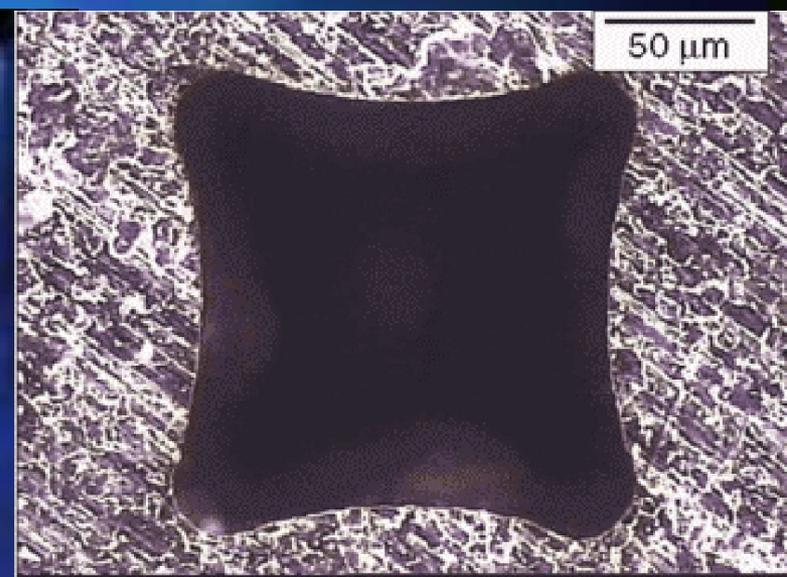
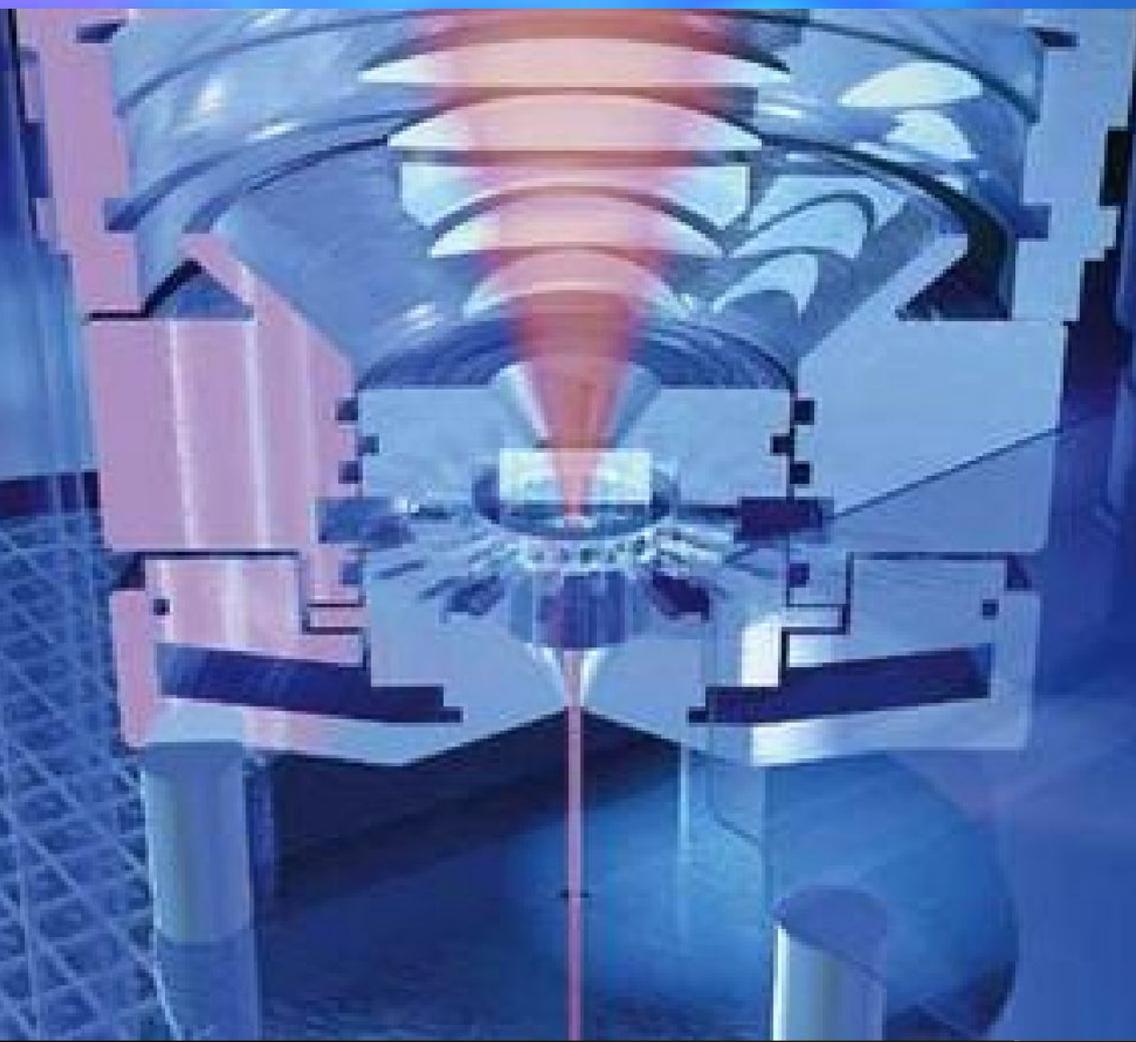
Образец газолазерной резки  
стали АК-29 со сварным швом.  
Мощность излучения – 20 кВт,  
скорость резки – 5 мм/с.



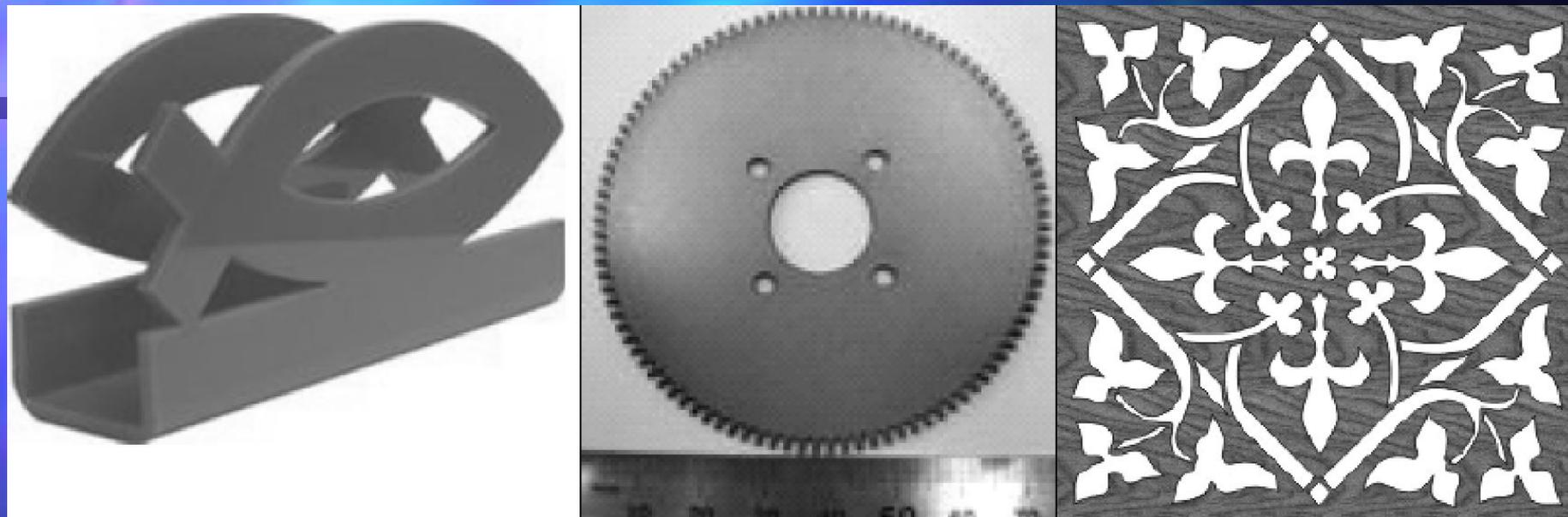
Образец газолазерной  
резки брони.  
Мощность излучения – 25 кВт,  
скорость резки – 20 мм/с.

2к30113ерная броня  
10ррчная резка брони  
P=24кВт, V=80м/мин

Лазерная резка твердых и хрупких материалов дает очень чистый срез, когда тонкая струя воды под высоким давлением, как световод, доставляет излучение в зону резки и одновременно интенсивно охлаждает ее

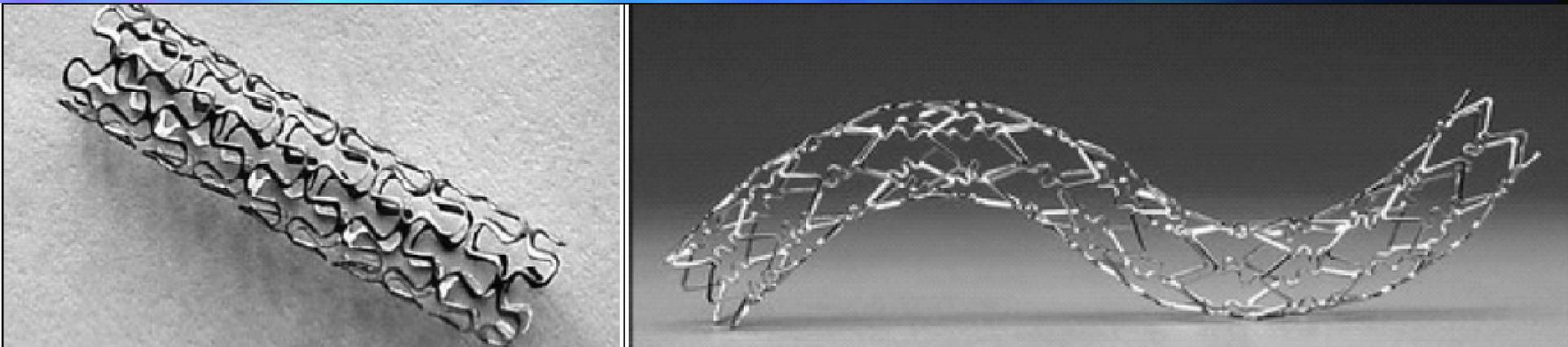


# Лазерная резка



Примеры лазерной резки различных материалов  
(слева – пластик, в центре – металл, справа – дерево)

# Лазерная резка



Медицинские стенты, изготовленные с помощью лазерной микрорезки

# Лазерная шовная сварка

Здесь вы можете увидеть  
лазерную приварку твердосплавных зубьев  
дисковой пилы на автоматической линии



---

Лазерная абляция.

Лазерное сверление полимера.

Терагерцовый лазер на свободных электронах,

ИЯФ СО РАН, Новосибирск

# Лазерное получение особо чистых веществ

В качестве примера приведем получение особо чистых материалов микроэлектроники.

Для получения особо чистого кремния газ  $\text{SiH}_4$  очищался от остаточных примесей с помощью излучения эксимерного  $\text{ArF}$ - лазера с длиной волны 196 нм. В результате органические примеси диссоциировали и получен кремний с рекордным значением содержания примесей  $-10^{10}$  в  $\text{см}^3$ .

Один из важных материалов полупроводниковой электроники – трихлорид мышьяка –  $\text{AsCl}_3$  очищается от основных примесей – 1,2-дихлорэтана  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$  и четыреххлористого углерода  $-\text{CCl}_4$  облучением излучения  $\text{CO}_2$ - лазера, которое приводит к диссоциации молекул примесей при настройке частота на соответствующие линии поглощения .

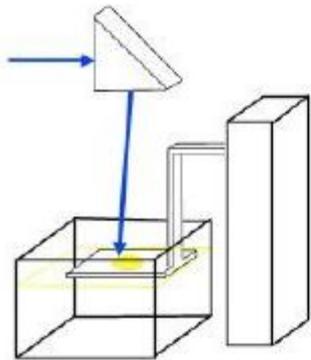
# Лазерный синтез новых соединений

---

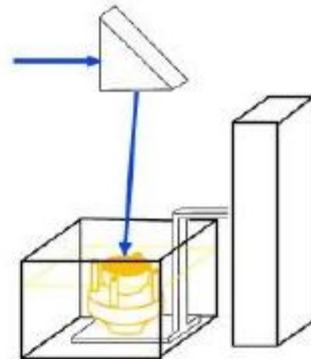
1. Поливинилхлорид –лазерное излучение позволило снизить температуру синтеза и избавиться от примесей.
2. Синтез витамина D (2 стадии- KrF и азотный лазеры)
3. Фрагментация молекул:  $SF_6 \rightarrow SF_5 \rightarrow SF_4$
4. Синтез молекулы  $P_2N_5$

# Лазерная стереолитография

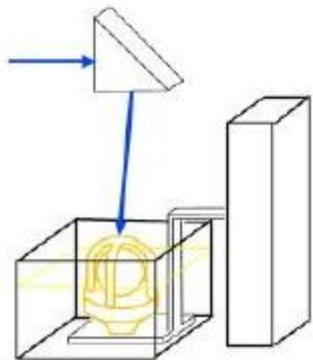
## ПОСЛОЙНОЕ "ВЫРАЩИВАНИЕ" ОБЪЕКТА.



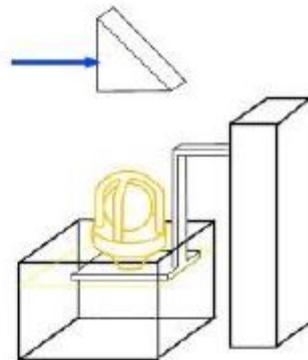
Выращивание 1-го слоя



Выращивание N-го слоя



Выращивание последнего слоя



Готовое изделие

## ОСНОВНЫЕ СТАДИИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ

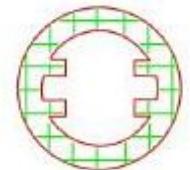
### ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ



Компьютерный образ детали в STL формате

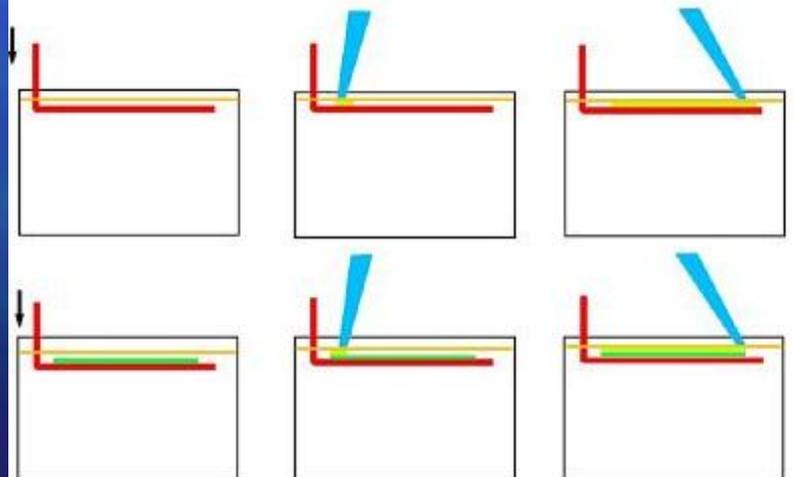


Разбиение образа на тонкие слои с заданным шагом



Расчет траектории лазерного луча, заполняющей каждое сечение

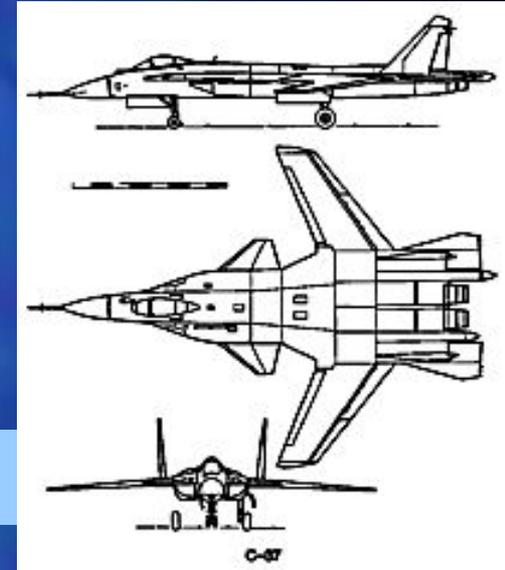
### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПОСЛОЙНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ



# Лазерная стереолитография



С-37



Эскиз

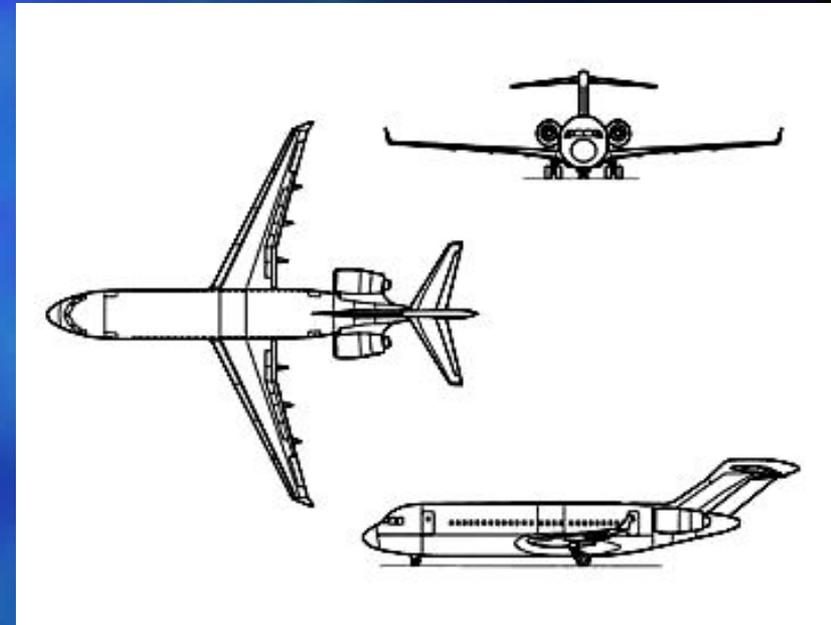


Компьютерная модель



Пластиковая модель

# Создание пресс-формы для изготовления продувочной модели самолета ТУ-334



# Лазерная стереолитография



Пластиковые стереолитографические модели рабочих колес для водометных движителей, изготовленные по ним восковые модели («восковки») и готовая металлическая отливка

# ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В БИОМЕДИЦИНЕ

Разработка и синтез новых полимеров и минерал-полимерных композитов для замены фрагментов скелета, регенерации костной ткани, изготовления матриц для тканевой инженерии



От виртуальной модели до индивидуального имплантанта



# Использование лазерной стереолитографии в медицине: Схема получения пластиковых моделей для медицины

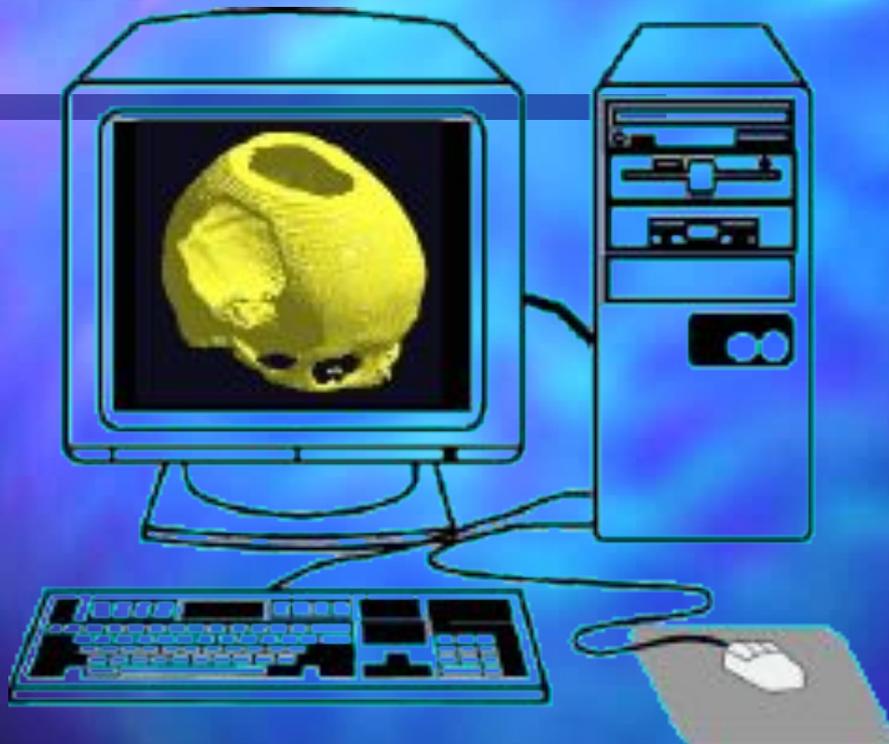


Томографическое обследование  
пациента

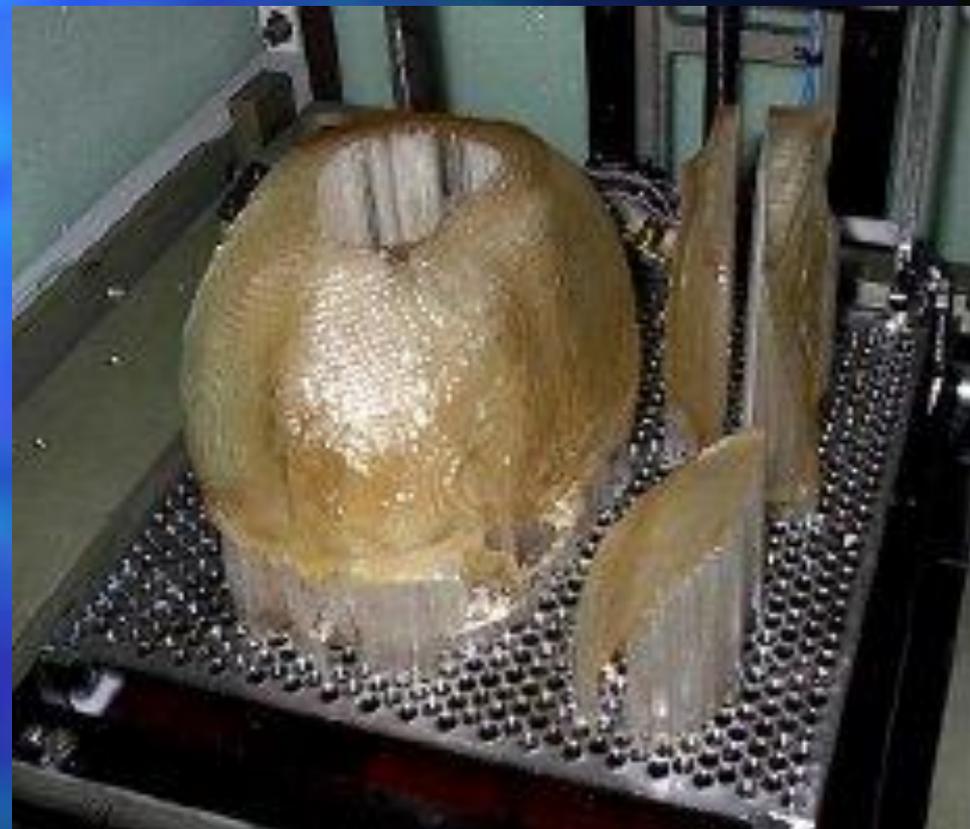


Томограмма: набор изображений  
отдельных слоев

# Использование лазерной стереолитографии в медицине: Схема получения пластиковых моделей для медицины



Получение 3D компьютерной модели по томографическим данным, создание виртуальных имплантов, построение управляющей программы.



Лазерное выращивание моделей

# Критические плотности потока лазерного излучения.

$q_c^1$  – критическая плотность потока, необходимая для достижения к концу импульса излучения на поверхности тела температуры плавления,

$q_c^2$  – критическая плотность потока, соответствующая достижению температуры кипения,

$q_c^3$  – критическая плотность потока, выше которой процессы испарения преобладают над переносом тепла в конденсированную среду,

$q_c^4$  – критическая плотность потока, выше которой вглубь материала распространяется ударная волна, а над поверхностью образуется плазменный факел.

# Классификация лазерных технологических процессов по плотности мощности.

Лазерные технологические процессы

Интенсивность излучения Вт/см <sup>2</sup>	Время действия импульса, с
--	----------------------------

Нагрев  
10<sup>3</sup>-10<sup>9</sup> / 10<sup>-9</sup>-10<sup>-2</sup>

Плавнение  
≤ 10<sup>7</sup> / 10<sup>-5</sup>-10<sup>-2</sup>

Испарение  
≤ 10<sup>9</sup> / 10<sup>-8</sup>-10<sup>-2</sup>

Ударное воздействие  
≥ 10<sup>9</sup> / ≤ 10<sup>-8</sup>

Отжиг имплантированных слоёв 10 <sup>8</sup> -10 <sup>9</sup> / 10 <sup>-8</sup>	Геттерирование 10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup> / 10 <sup>-8</sup>
---	---

Закалка 10 <sup>6</sup> / 10 <sup>-3</sup>	Термообработка 10 <sup>6</sup> / 10 <sup>-3</sup>
---	--

Сварка  
10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup>

Очистка поверхности  
≤ 10<sup>7</sup>

Легирование

Образование силицидов

Создание аморфных структур  
≤ 10<sup>7</sup>

Пайка  
≤ 10<sup>7</sup>

Зонная очистка кристалла  
≤ 10<sup>7</sup>

Плакирование

Химико-термическая обработка

Улучшение свойств структуры  
≤ 10<sup>5</sup>

Резка  
≤ 10<sup>8</sup>

Скрайбирование  
≤ 10<sup>9</sup>

Обработка плёнок

Лазерно-плазменная обработка  
10<sup>7</sup>-10<sup>9</sup>

Синтез

Окисление

Упрочнение

Сверление  
≤ 10<sup>9</sup>

Напыление плёнок  
3·10<sup>8</sup>-3·10<sup>9</sup> / 10<sup>-8</sup>

Подгонка

Разложение

Восстановление

Ударное упрочнение  
10<sup>9</sup> / ≤ 10<sup>-8</sup>

Создание p-n переходов  
10<sup>9</sup> / ≤ 10<sup>-8</sup>