

Дисциплина « Лазерные технологии в промышленности и медицине»

Основные направления применения лазеров

Металлообработка — сварка, резка, упрочнение.

Микротехнологии—микроэлектроника, обработка пленок, нанесение пленочных слоев, литография, подстройка параметров, интегральная оптика, микрооптика, микромеханика микрохимия и др.

Лазерная маркировка материалов и изделий.

Полиграфия — изготовление печатных форм, лазерная печать (принтеры) и др.

Оптическая связь и волоконные технологии.

Химические технологии: разделение изотопов, катализ и т.д.

Звуко– и видеозапись и воспроизведение.

Измерения и контроль в технологических процессах, дефектоскопия.

Дистанционные измерения, экологический мониторинг.

Оптическая локация, навигация, дальнометрия, батиметрия.

Лазерная спектроскопия.

Клиническая медицина — хирургия, терапия и диагностика, и биология (все направления клинической медицины).

Голография и ее применения.

Реставрация художественных произведений (в т. ч. очистка).

Трехмерное моделирование и синтез 3-х мерных объектов.

Космос: лазерные реактивные двигатели, разведка и добыча полезных ископаемых на космических телах, удаление космического «мусора» с Земли или из космоса.

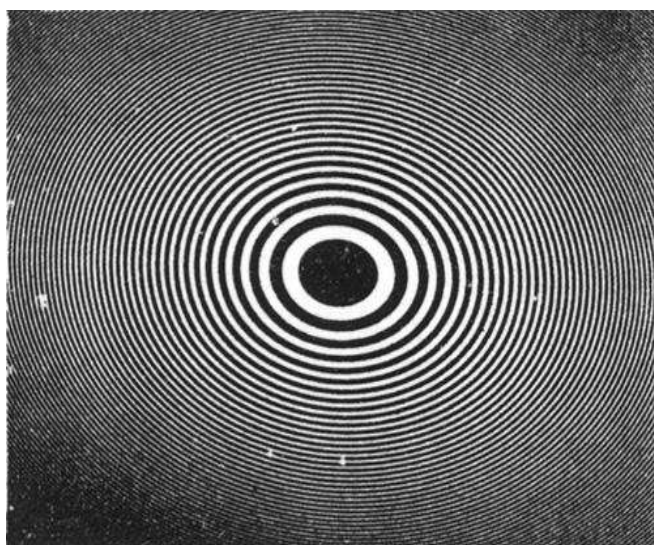
Энергетика: передача энергии на большие расстояния (из космоса), разделение изотопов, термоядерный синтез, рентгеновские лазеры, управление грозowymi разрядами, очистка и утилизация радиоактивно-зараженных объектов.

Строительство: резка бетона, скал, камня, стали, стекла и т.п., поверхностная

обработка строительных материалов, проходка туннелей и скважин,
Экология — очистка среды, ликвидация разливов нефтепродуктов, ликвидация аварий и разрезка ядерных реакторов (дистанционная); ликвидация аварий железнодорожных, авто и т.п. — разрезка на мобильных лазерах.
Лазерное оружие: космическое – противоракетное, ослепляющее.
Наука: различные области естественных наук и наук о человеке

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (ДОЭ), ОПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ – CD-ROM, CD-RW И ДР.

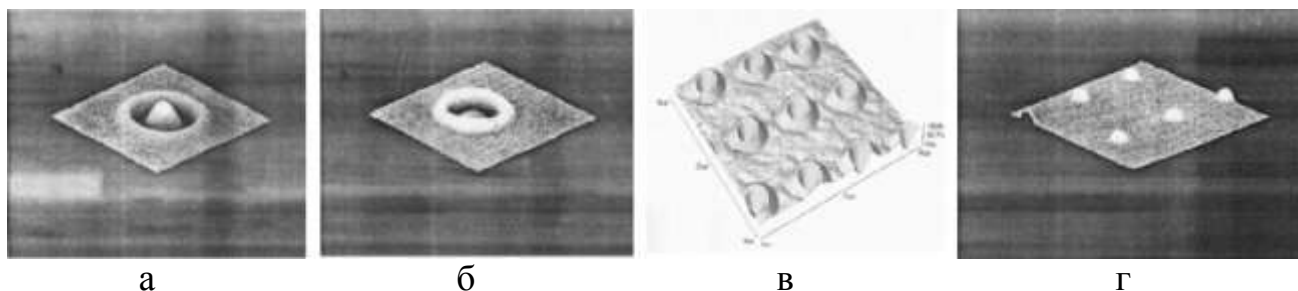
Использование дифракционных оптических элементов дает возможность сократить количество оптических элементов в схеме в результате объединения всех функциональных свойств, присущих некоторым элементам, соединенных в едином ДОЭ. При этом возможно уменьшение габаритов, веса, стоимости обычного оптического оборудования, а также создание новых оптических систем, не имеющих аналогов. Среди них: бифокальный микроскоп, лазерные объективы, блок оптической головки считывания информации с компакт-диска, круговой (импульсный) датчик положения. Но изготовление ДОЭ это сложная техническая проблема такая же как, изготовление СБИС (фотошаблонов сверхбольших интегральных схем). Та же технология, но другая топология и другие физические механизмы записи применяются при создании устройств оптической памяти –CD-ROM, CD-RW и др.



*Изображение фрагмента асимметричной структуры ДОЭ:
эллиптическая зонная пластинка (количество зон — 500, полный
диаметр — 40 мм).*

ЛАЗЕРНОЕ МИКРОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Давление паров, гидродинамическая неустойчивость и неоднородность поверхностного натяжения при лазерной абляции могут изменить форму поверхности ванны расплава и это приводит к появлению поверхностных структур различной формы. Все эти явления можно использовать для изменения топологии поверхности. В фирме ИВМ, США широко использовали эти возможности для создания магнитных дисков со специальной наноструктурой «зоны торможения» магнитных головок (до 10000 «лазерных бампов»)

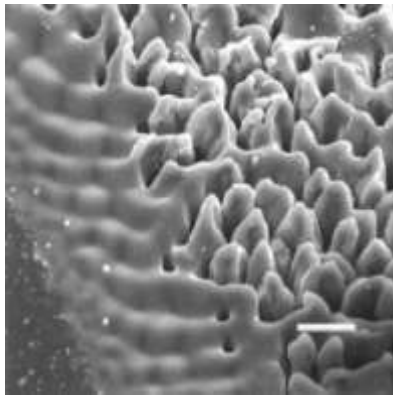


Фотографии, сделанные на атомно-силовом микроскопе, показывающие разнообразные формы нанобампов» на аморфном никель–фосфорном металлическом диске (а, б, в) и стеклянной подложке (г).

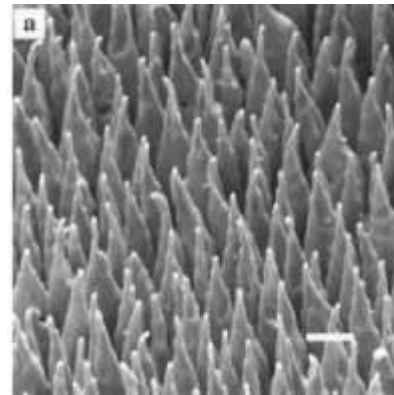
Похожие на колонны структуры могут быть образованы на поверхности твердого тела (монокристаллах Si и Ge, поликристаллическом Ti) при многократном воздействии лазера на парах меди (наносекундные импульсы).

Такая структурированная поверхность имеет широкий спектр возможных применений. Например, измененная поверхность может быть использована в изготовлении солнечных батарей, вместо антиотражающих слоев.

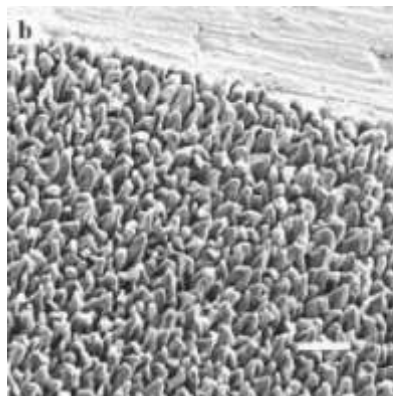
Лазерное структурирование поверхности твердого тела ведет к заметному росту её удельной поверхности, который представляет потенциальный интерес в катализе и датчиках. Структурированная лазером поверхность биосовместимого металлического сплава представляет интерес в медицине и биологии.



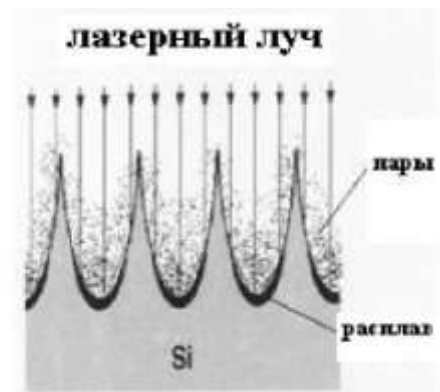
а



б



в



г

Рисунок: при многократном воздействии импульсов Si- лазера поверхностная структура кремния преобразуется в набор микроконусов (а); поверхностная структура монокристалла Ge преобразуется в коническую структуру, изображенную на поз.б; образующаяся поверхностная структура поликристалла Ti показана на поз.в; на позиции г — схема развития конической структуры в течение лазерного испарения, темные области указывают на расплавленный материал, образующийся в течение лазерного импульса, в то время как конусы остаются твердыми.

ЛАЗЕРНОЕ СВЕРЛЕНИЕ МИКРООТВЕРСТИЙ В АЛМАЗНЫХ ФИЛЬБАХ ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

Объемы до 30 000 фильер в год в мире (3 тыс. новых), время механического сверления каждой – 60 часов (48 часов – сверление черного

отверстия и 12 часов – доводка его формы)

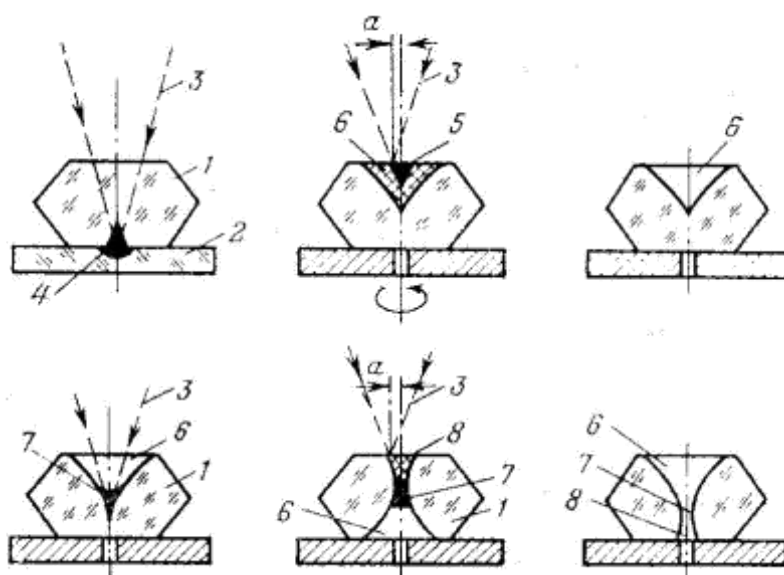
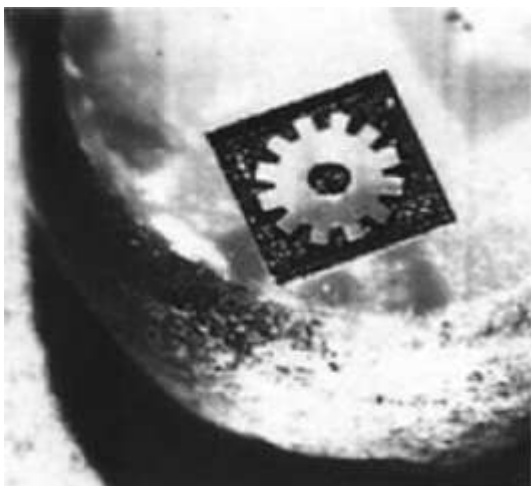


Схема процесса лазерного сверления микроотверстий в алмазных фильерах: 1 — алмазный кристалл, 2 — пластинка из материала, хорошо поглощающего лазерное излучение, 3 — фокусированный лазерный луч, 4 — исходное микроотверстие в пластинке (2), 5 — исходное микроотверстие в алмазе (графитовая преграда), 6 — входной и смазанный конус, 7 — рабочий канал, 8 — выходной конус. Последняя операция — ультразвуковая очистка.

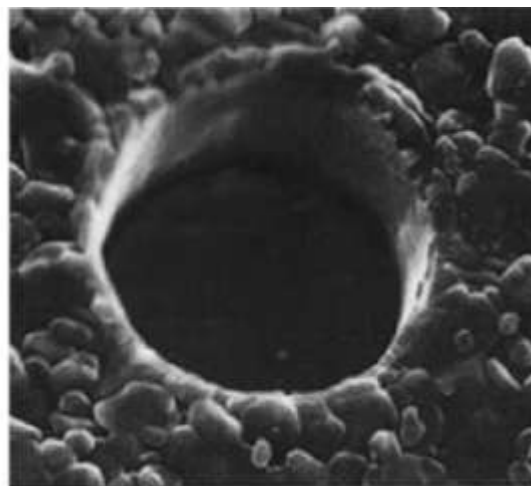


Рисунок. Фотография алмазной фильеры на одном из этапов сверления микроотверстия (толщина алмаза 1.6 мм). Время лазерного сверления 5-8 минут.

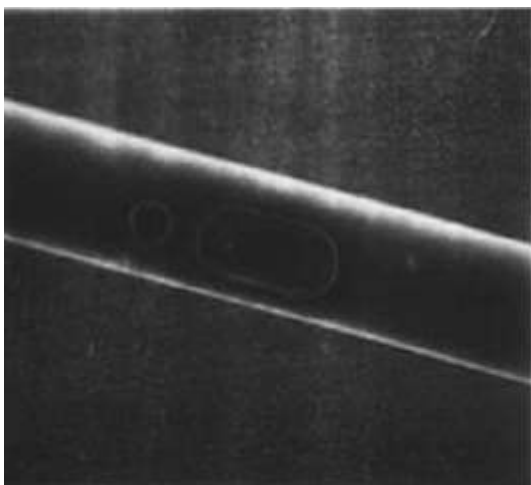
ПРИМЕРЫ ЛАЗЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ



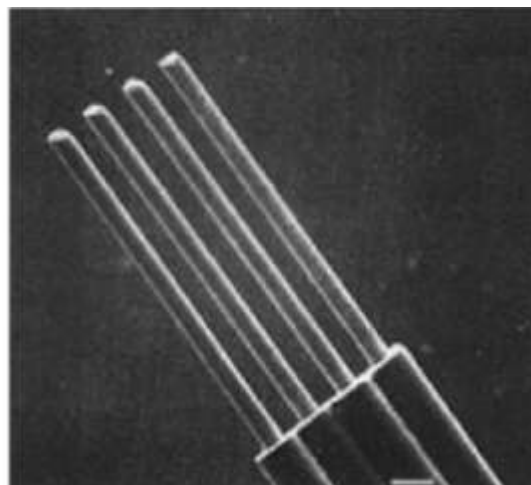
*300 микронная 3D шестерня
в алмазе*



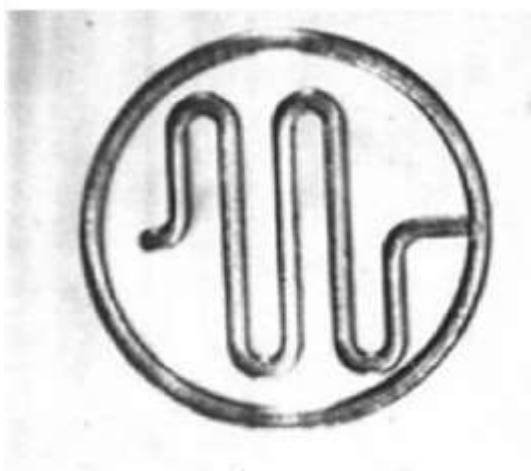
*Микроотверстие диаметром 300
микрон в керамике Al_2O_3*



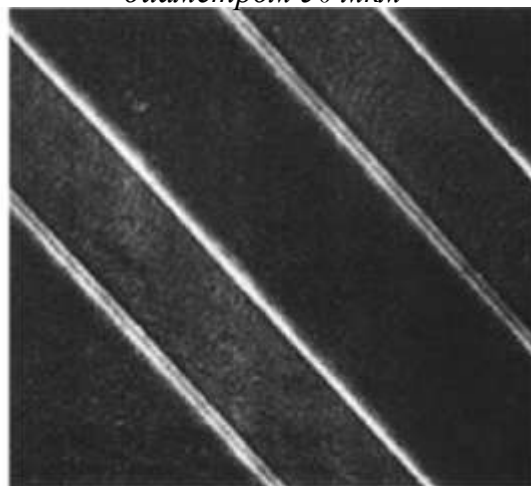
*Микроотверстие диаметром 100
мкм и щель в полиамидной трубке*



*Снятие изоляции с провода
диаметром 50 мкм*



*Змеевидный образец с шириной
линии 30 мкм в стекле*

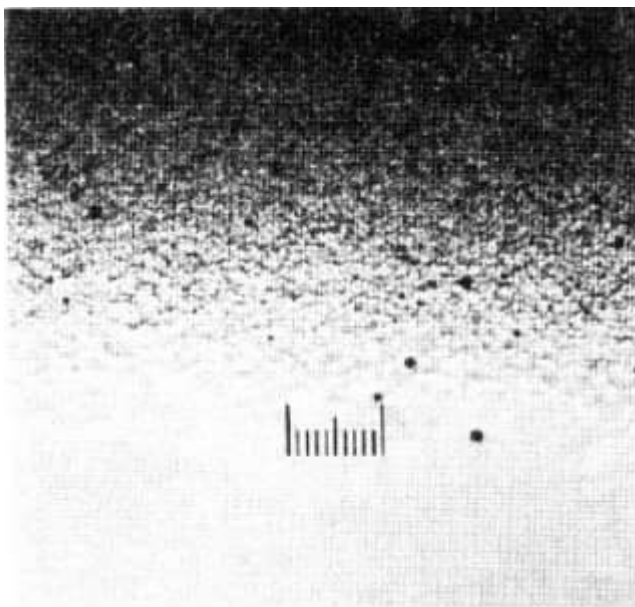


*Крупный план змеевидного
образца в стекле*

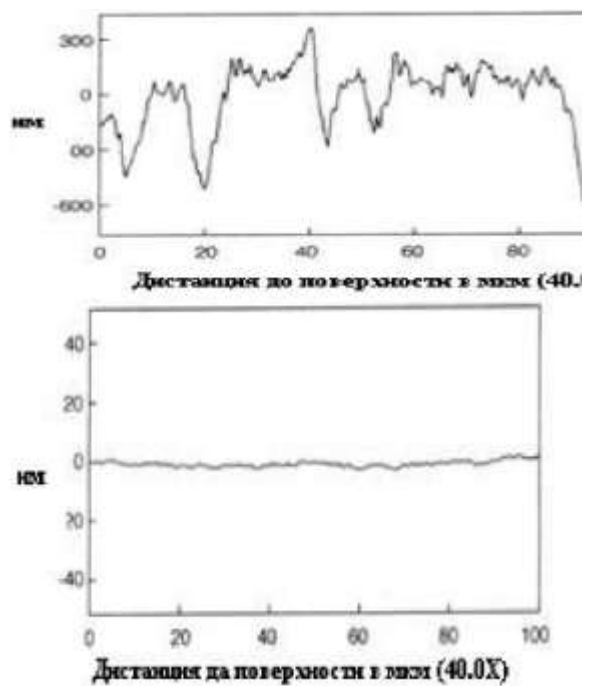
ЛАЗЕРНАЯ ПОЛИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Физическая идея лазерной полировки стеклянной поверхности сходна с огневой полировкой стекла: при лазерном нагреве вязкость стекла уменьшается, а силы поверхностного натяжения стремятся минимизировать свободную (поверхностную) энергию и соответственно, объем и шероховатость поверхности. Проблемы, которые при этом возникают – это гидродинамические волны и термомеханические напряжения

Положительные результаты продемонстрированы для мини- и микрооптики и даже для макрооптики.



а



б

Рисунок: лазерная полировка стекла: слева электронная микрофотография образца из стекла В-270 после механической полировки (а, сверху) и после дополнительной лазерной полировки (а, снизу), показана переходная область между облученной и необлученной зоной; соответствующий измеренный профиль после механической (б, сверху) и лазерной (б, снизу) обработки стеклянных образцов.

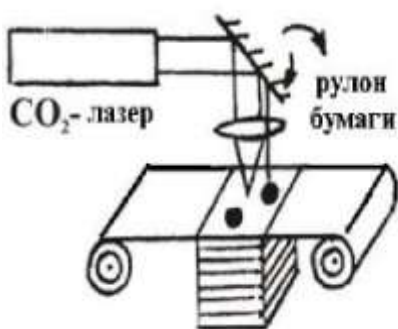
ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ

может производиться дистанционно, в условиях музейных интерьеров, труднодоступных местах с помощью волоконной доставки излучения, также локально – в микроэлектронике, и т.д.

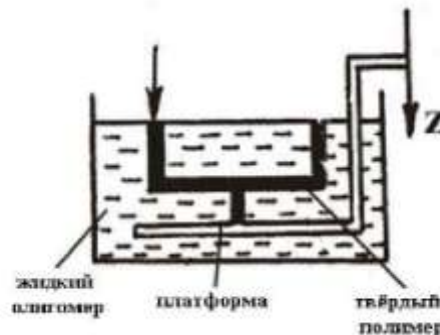


*Фотография медной статуэтки Петра I в процессе
лазерной очистки*

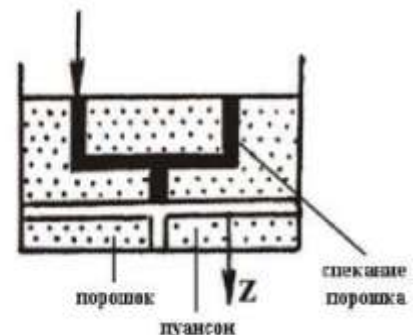
ТРЕХМЕРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ ОБЪЕКТОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ



послойный синтез
из целлюлозно-
бумажных слоев



стерео-
литография



спекание
из порошков

Быстрое создание опытных образцов-прототипов



В медицине структура костей или органов имитируются при помощи данных компьютерной томографии, чтобы планировать операции или встраивать имплантанты, которые с помощью методов 3-х мерного лазерного синтеза можно изготовить индивидуально и оперативно подогнать для каждого пациента.

Фотография трехмерной модели Нефертити (слева) и черепа доисторического человека (внизу), изготовленных методом стереолитографии из фотополимера.



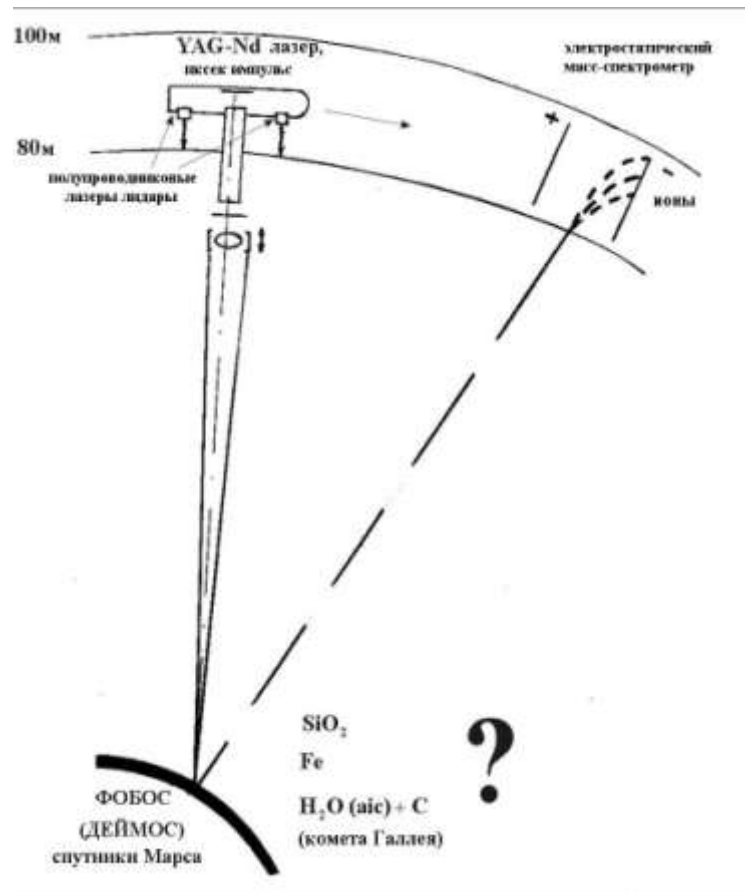
Процессы послойного синтеза из целлюлозно-бумажных слоев, стереолитографии или спекания из порошков позволяют создавать любые трехмерные модели из данных CAD в течение короткого времени. Такие модели являются прототипами и радикально сокращают время изготовления литейных форм. Преимущества действующих и наглядных моделей заключается также в значительной экономии времени при разработках в медицине, промышленности, архитектуре и т. д.



Трехмерные изображения записываются в стеклянных блоках путем послойной записи рассеивающих точек. Внутри прозрачного стеклянного блока (призмы, куба и т.п.) формируется объект, который можно рассмотреть со всех сторон. Применение: в рекламе, в науке для наглядного представления о структуре сложных молекулах, для изготовления портретов и т.п.

Реализовано множество мотивов композиций – от архитектурных сооружений (церквей, храмов и т.п.), изображений технических объектов (ракет, самолетов, автомобилей) до изображений животных, картин спортивных игр, портретов людей и т.д.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ



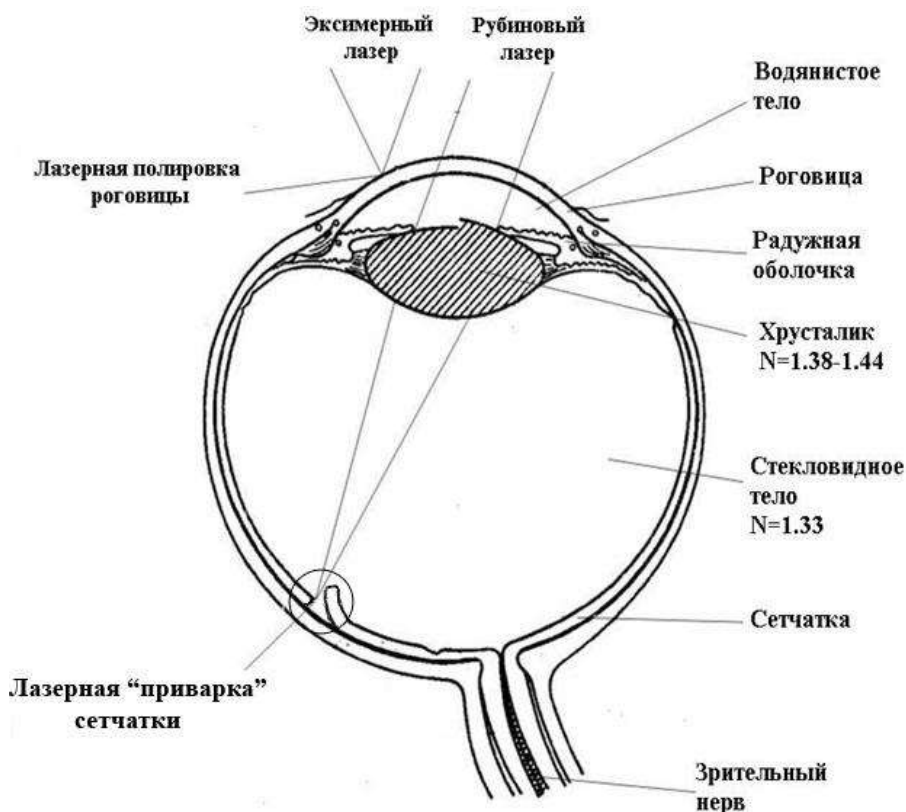
ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ



Полное число процедур по лазерному “омоложению” кожи и удалению морщин увеличилось со 120000 в 2000 г. до 550000 в 2006 г. Быстро растущий сектор – диагностические лазеры (оптическая когерентная томография),

ежегодный прирост 25% (>15% полной суммы продаж). В то же время офтальмологический сектор коррекции зрения, выполняемой с эксимерными лазерами, не меняется в течение последних трех лет.

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ



ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРИ ЛАЗЕРНОМ НАГРЕВЕ

Эмиссионные процессы

- десорбция газа,
- термоэлектронная эмиссия,
- термоионная эмиссия,
- эмиссия нейтральных атомов,
- тепловое излучение (пироэлектрические измерения).

Структурные процессы

- рекристаллизация,
- структурные изменения в Fe–C сплавах (закалка сталей),

- размягчение стекла и, соответственно, структурные изменения,
- аморфизация и кристаллизация стеклокерамик,
- аморфизация тонких металлических пленок,
- взаимная диффузия нагретых слоев (микрометаллургия),
- отжиг дефектов (в полупроводниках).

Поверхностные химические реакции

- локальное окисление металлов и полупроводников,
- восстановление окислов,
- термическое разложение металлоорганических соединений
- полимеризация (деструкция) полимеров.

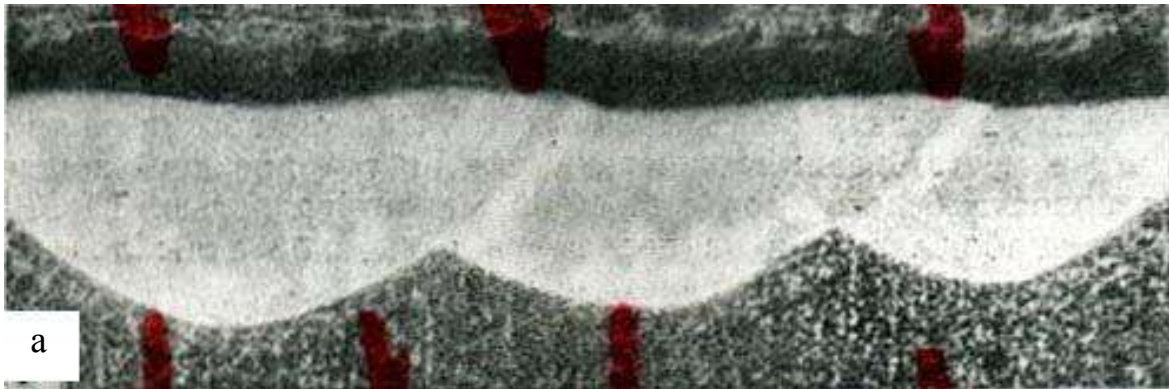
Термомеханические эффекты

- тепловое расширение (включая импульсное),
- появление термонапряжений,
- генерация ударных волн в твердом теле и в воздухе,
- генерация ультразвука (дефектоскопия),
- оптический пробой в прозрачных диэлектриках

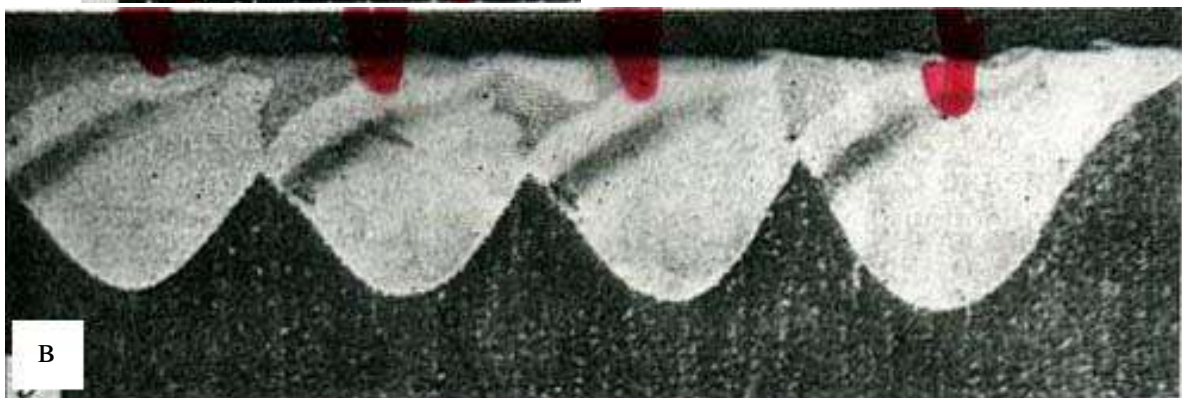
Физические переходы

- плавление,
- испарение,
- воспламенение и горение,
- детонация активных и взрыв пассивных сред.

ЛАЗЕРНАЯ ЗАКАЛКА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

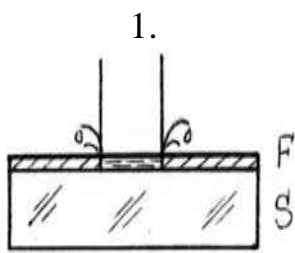


*Рисунок:
упрочненный слой в стали
Р6М5: а — на воздухе X100, б
— при обработке на воздухе
X500, в — в среде аргона
X100.*

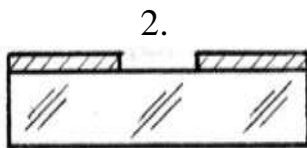


ФИЗИКА ЛАЗЕРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ ТОПОЛОГИИ

1. Удаление пленок
(испарение абляция)

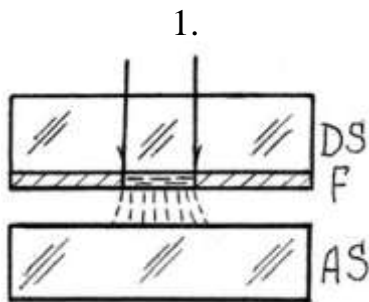


экспозиция
(удаление)

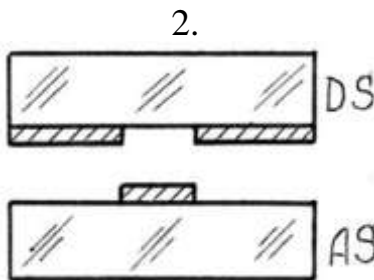


результат –
отверстие в
пленке

2. Локальное
лазерное
осаждение

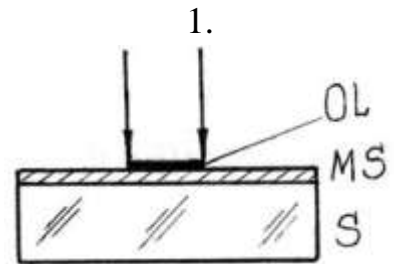


экспозиция
(осаждение)

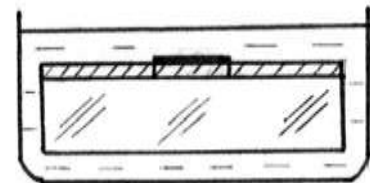


результат –
локальная
конденсация

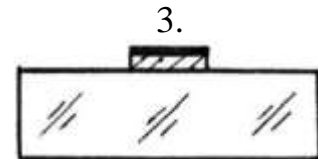
3. Локальное окисление –
селективное травление



экспозиция
(окисление)



HCl + Al
катализатор
селективное
травление



результат –
пленочный элемент

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ОТ ЧАСТИЦ

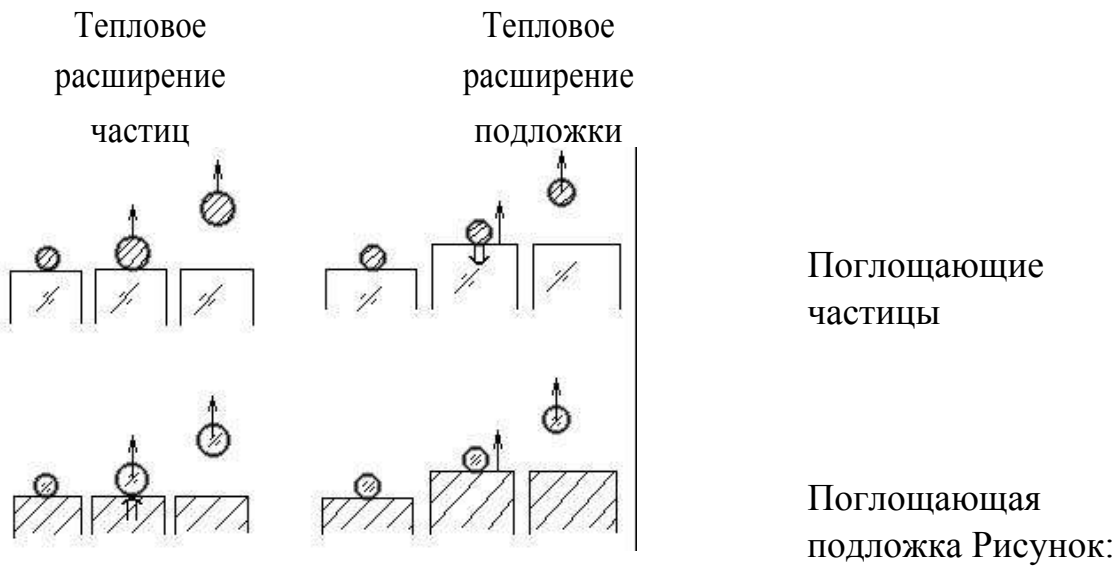
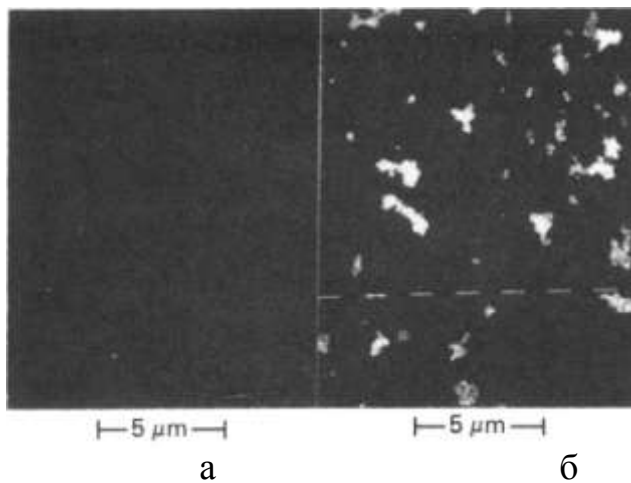


иллюстрация физического механизма
сухой лазерной очистки



Рисунок. Иллюстрация физического механизма влажной
лазерной очистки.



Фотография поверхности Si подложки с 0.2 мкм Au частицами, KrF-лазер (0.2 Дж/см², 4 импульса, пленка воды): а) до очистки, б) после очистки

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВАЖНЕЙШИХ ТИПОВ ЛАЗЕРОВ

СО ₂ –лазеры:	обработка материалов, медицина, научные исследования, оборона
Твердотельные (YAG:Nd):	обработка материалов, датчики, спектроскопия, научные исследования, оборона
Ионные лазеры (Ar):	печать, датчики, развлечения, обработка материалов, научные исследования
Полупроводниковые:	оптическая связь, хранение информации, печать, сканеры, юстировка, датчики, научные исследования, медицина
Волоконные:	оптическая связь, медицина, промышленность
Экимерные:	микроэлектроника-литография, медицина, научные исследования
На парах металлов (Cu):	научные исследования, микроскопия, обработка материалов
He–Ne:	сканирование, измерения, датчики, юстировка, голография, научные исследования
На красителях:	спектроскопия, научные исследования

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛАЗЕРОВ

ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ

- ✓ высокая оптическая однородность активных газовых сред, что приводит к малой угловой расходимости – порядка дифракционной.

- ✓ малая плотность газовых активных сред, что приводит к сужению контура усиления и высокой монохроматичности.
- ✓ высокая мощность, непрерывный и импульсный режимы
- ✓ высокий КПД

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ

- ✓ высокая удельная мощность,
- ✓ высокое качество при большой мощности (TEM₀₀),
- ✓ высокий КПД (с диодной накачкой) > 20%,
- ✓ большая энергия (до кДж/импульс),
- ✓ широкий диапазон длин волн,
- ✓ широкий диапазон длительностей импульсов (от 10⁻² до 10⁻¹⁵ с),
- ✓ совместимость длин волн с оптическим волокном,
- ✓ возможность получения генерации в волокнах
- ✓ большая яркость,
- ✓ высокая надежность.

Основные виды твердотельных лазеров

Nd-YAG — 1.06, 0.53, 0.355, 0.266 мкм;

Nd-стекло — 1.06, 0.53, 0.355, 0.266 мкм;

Er-стекло — 1.54 мкм;

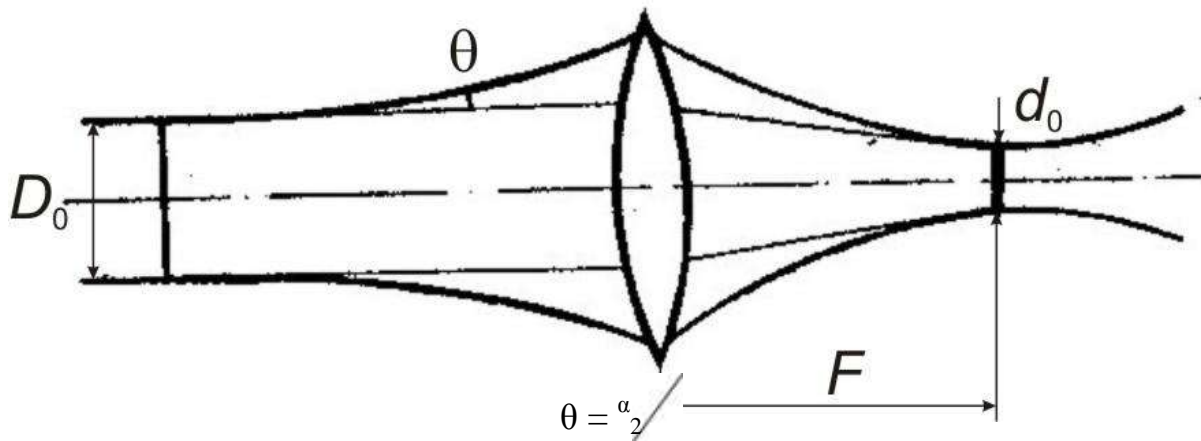
Рубиновый — 0.63 мкм;

Ti-сапфир — 0.66–0.98 мкм;

Cr-BeAl₂O₄ (александрит) — 0.72–0.78 мкм.

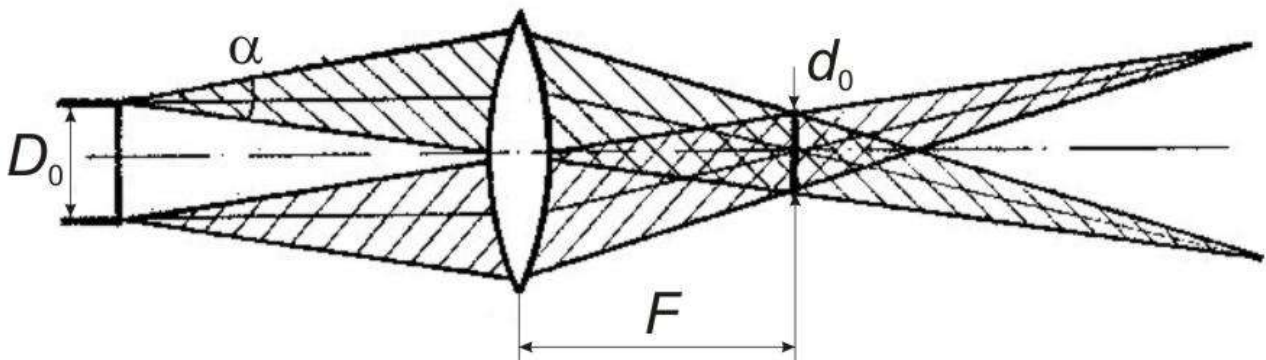
ФОКУСИРУЮЩИЕ СХЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Основные пространственно–геометрические модели лазерных источников
 Гауссова модель лазерного источника (одномодовый режим)



в перетяжке $d_0 = 2\omega_0$

Телецентрическая модель лазерного источника (многомодовый режим) (оси всех пучков \parallel оптической оси, все направления внутри α равноценны)



фокальное пятно $d_0 = \alpha F$, глубина резкости $l = 2d_0 F / D$

теоретические пределы: $d_0 = \lambda F / D \approx \lambda$; $L \approx 2d_0^2 / \lambda \approx 2d_0$ Пример: при $\alpha = 10^{-3}$ рад, $F = 1$ см, $d_0 = 10$ мкм, $l_0 = 20$ мкм

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ФОКУСИРУЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

Фокусирующая техника характеризуется простотой, полным использованием лазерной энергии и оптическим разрешением (размером светового пятна), определяемым расходимостью пучка и фокусным расстоянием линзы.

Дальнейшее уменьшение размера пятна может быть достигнуто размещением перед объективом телескопического расширителя пучка с увеличением Γ (снижение расхождения в Γ раз). При этом можно либо уменьшать d_0 , либо увеличивать фокусное расстояние объектива f без изменения d_0 ($d_0 = \alpha_{\text{л}} f / \Gamma$).

Использование расширителя пучка в рабочей станции «КВАНТ– 3» приводит к получению пятна диаметром 5 мкм с рабочим отрезком объектива 70 мм. Такая большая величина рабочего отрезка обеспечивает размещение (если необходимо) образца с различными зондами, контактных измерительных и других устройств.

Главные недостатки фокусирующей техники:

- ✓ неоднородное распределение интенсивности в фокальном пятне
- ✓ неопределенность размера зоны воздействия, который зависит от порога чувствительности материала,
- ✓ сложность обеспечения достаточной точности краев зоны воздействия при сканировании.

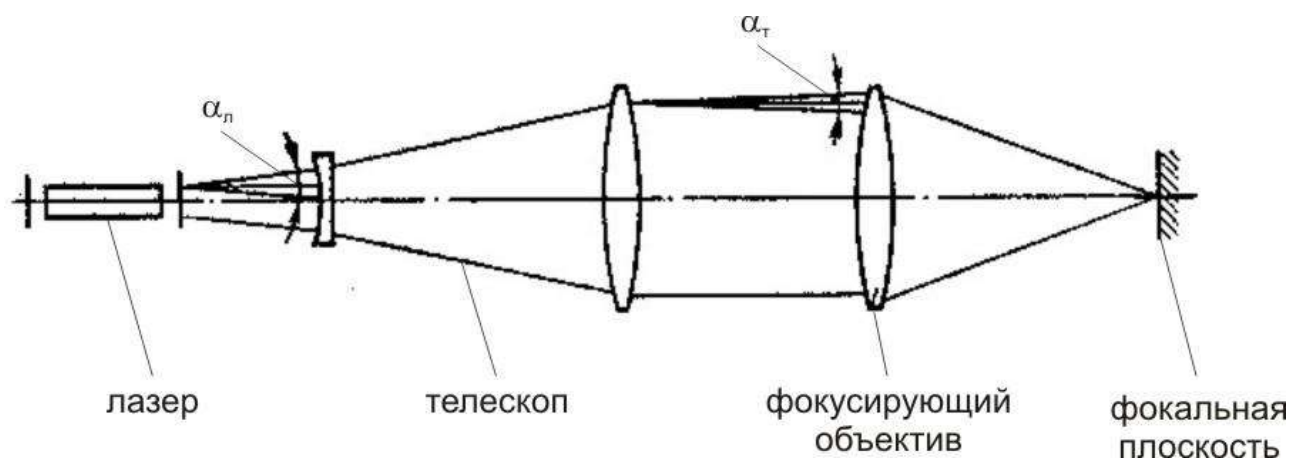
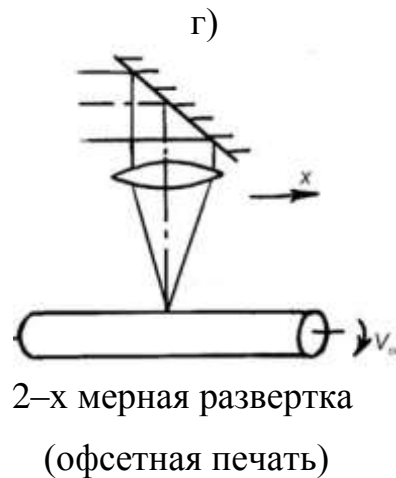
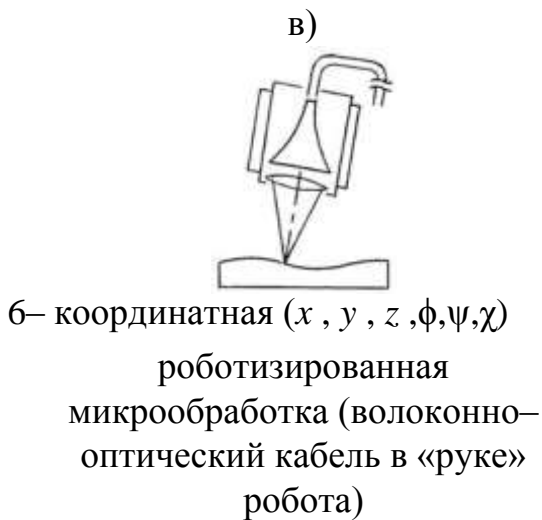
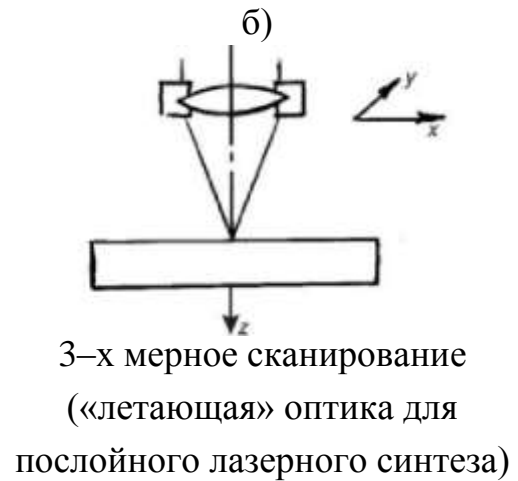
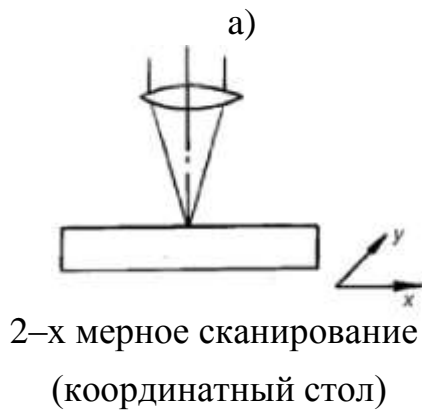


Схема уменьшения размера фокального пятна с помощью телескопической системы

СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ А-ТИПА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

А-тип: поверхность обработки расположена в фокальной плоскости линзы
(сканирование с прямоугольной разверткой)

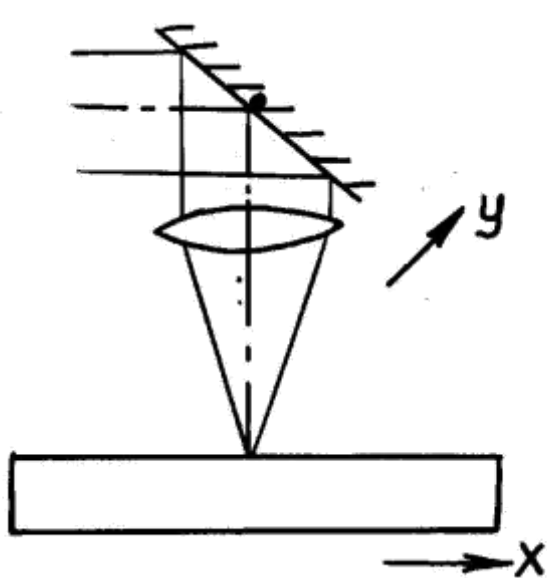


Схемы сканирующих систем А-типа

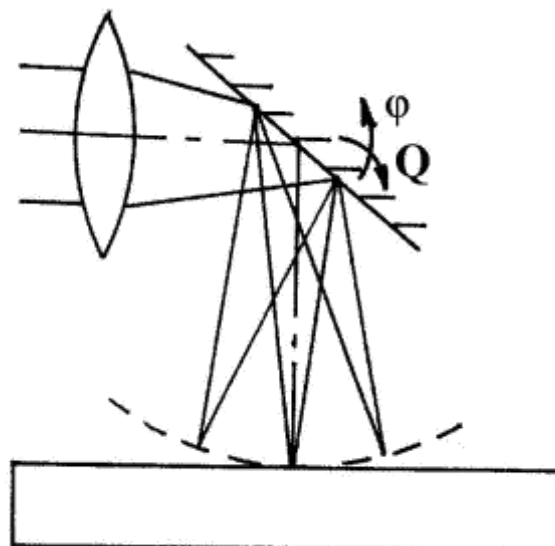
СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ Б–ТИПА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Б–тип: только центральная точка обрабатываемой поверхности находится в
фокальной плоскости линзы

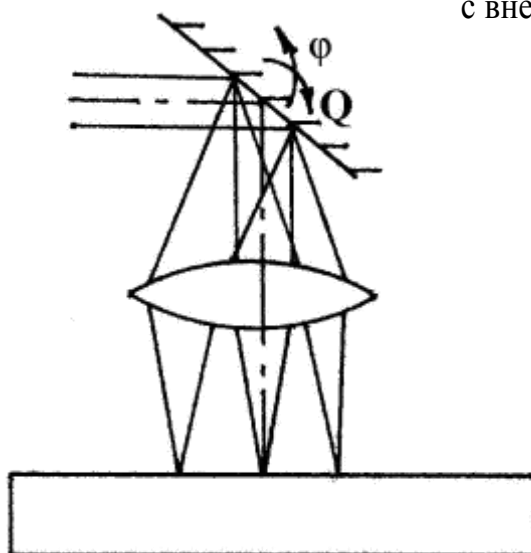
(сканирующие системы с угловым отклонением пучка)



одномерное угловое отклонение



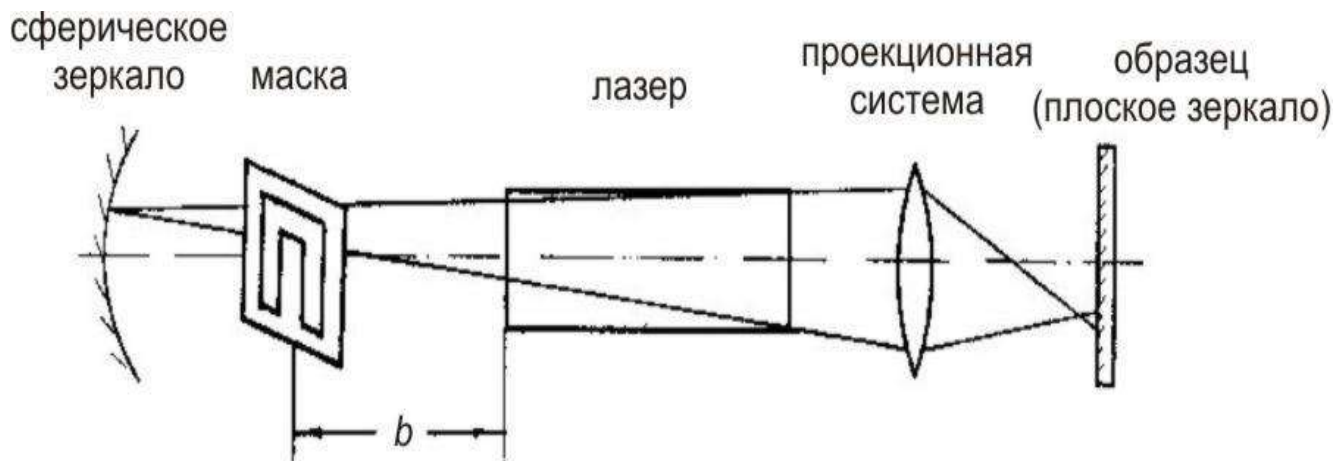
2–х мерная сканирующая система
с внешней линзой



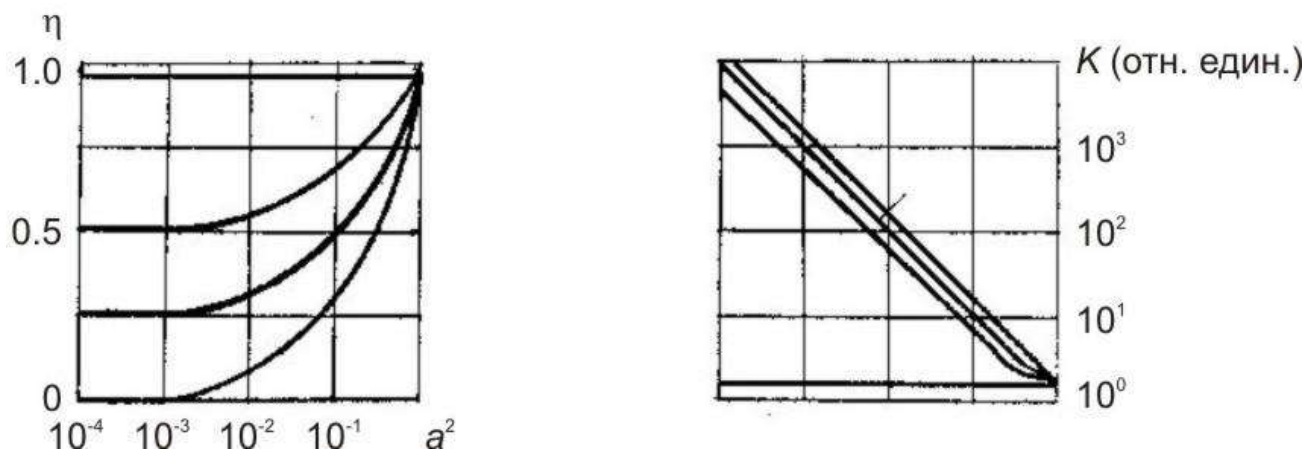
2–х мерная система типа линзы с “плоским полем”

Схемы сканирующих систем Б–типа

АКТИВНЫЙ ПРОЕКЦИОННЫЙ МЕТОД



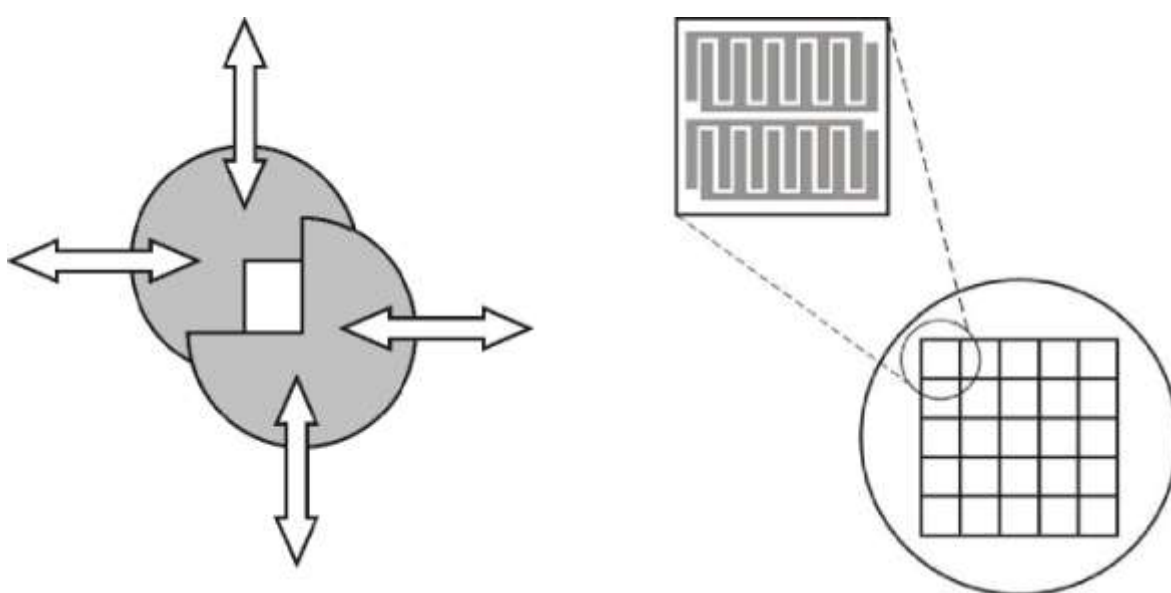
Принципиальная схема активного проекционного метода



Энергетическая эффективность η , а) и плотность мощности k , б) активной и пассивной проекционной системы как функция относительного размера прозрачного окна в маске: 1 — $b = \infty$, 2 — $b = 4$, 3 — $b = 0$, 4 — пассивная микропроеекционная система

КОМБИНИРОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

На практике большое распространение получили комбинированные методы формирования изображения, когда элемент изображения строится методом оптической проекции, а поле обработки перекрывается сканированием пучка. К таким методам относятся мультиплицирование изображения и фотонабор, применяемые в фотолитографии. В лазерных технологиях наибольшее распространение получил сканирующий проекционный или контурно–проекционный метод.



Принципиальные схемы метода фотонабора (а) и метода мультипликации (б)

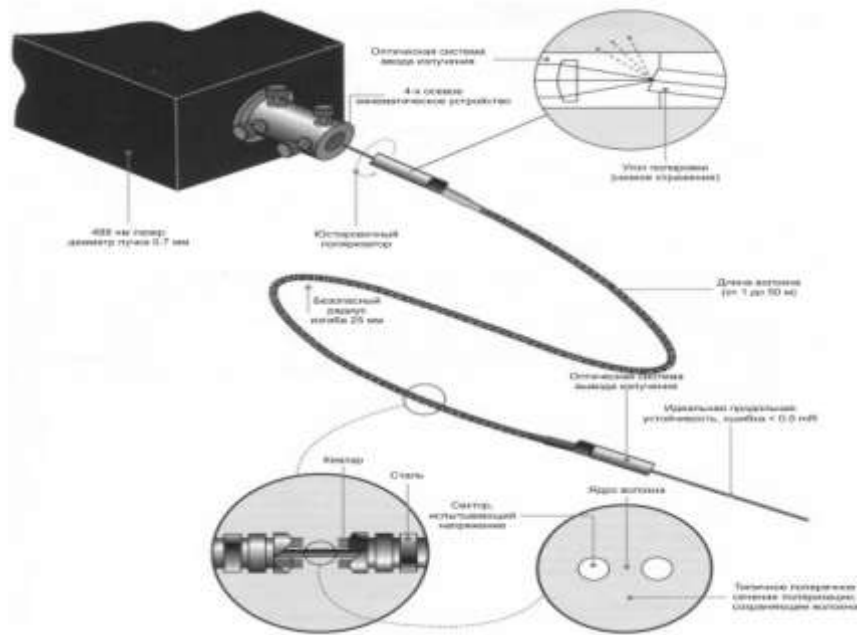
Принцип метода фотонабора заключается в синтезе (наборе) изображения из элементарных частей (базовых элементов) путем последовательного экспонирования пятном с изменяющимся размером и формой в плоскости изображения. Для изменения геометрии пятна могут быть использованы подвижные диафрагмы. Метод мультиплицирования (размножения) изображений осуществляется многократным последовательным или параллельным нанесением повторяющегося топологического рисунка. Различают оптико-механическую и оптическую мультипликацию.

Проекционно–сканирующий (контурно–проекционный) метод состоит в том, что изображение синтезируется в результате последовательного обхода по контуру световым пучком специального сечения, которое представляет собой микропроекцию простого элемента, например, квадрата. Схема контурно–проекционного метода аналогична схеме проекционного метода, но

осветительная система работает с увеличением, меньшим 1. Обход заданного контура на обрабатываемой поверхности осуществляется перемещением рабочего стола, на котором располагается изделие, по программе или при использовании оптического плоттера. Достоинствами контурно–проекционного метода формирования оптического изображения являются: независимость размеров общего поля изображения от разрешающей способности; высокая точность рисунка (вследствие использования элемента, образующего изображение, прямоугольной формы и равномерности распределения в нем энергии); высокая разрешающая способность; небольшие потери энергии на маске. Рассмотренное выше положение маски в плоскости изображения выходного окна лазера не является единственно возможным. Иной принцип построения осветительных систем — использование телескопа или расположение маски вблизи фокальной плоскости осветительной системы. Преимуществами таких осветительных систем являются значительно меньшие габаритные размеры и более равномерное распределение интенсивности излучения. Для осуществления трехмерной (рельефной) обработки поверхности могут быть использованы различные модификации метода, например, контурно–проекционный метод с «дрожащей» маской (колеблющейся вдоль оптической оси системы по заданному закону в процессе перемещения облученной области по обрабатываемой поверхности), а также применение в микропроекционной схеме полутонных масок с переменным пропусканием.

ВОЛОКОННО–ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ (ВОС) ДОСТАВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Применяются для доставки и распределения лазерного излучения по рабочим местам. ВОС могут улучшать качество пучка и обеспечить передачу достаточно больших мощностей до 1 кВт по одномодовому волокну и до 50 кВт по многомодовому оптическому кабелю.



Структура ВОС доставки