**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Московский государственный институт электроники и математики
(Технический университет)**

**Кафедра технологических систем электроники**

# ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА «БЕТАМАРК 2000»

**Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам**

**«Технология материалов и изделий электронной техники»
«Технология технических систем»**

**Москва 2008**

Составитель канд.техн.наук. Б.А. Лапшинов

УДК 621.52

Лазерная технологическая установка «БетаМарк 2000»: Метод. указания к лабораторно работе по дисциплине «Технология материалов и изделий электронной техники» / Моск. гос. ин-т электроники и математики; Сост. Б.А. Лапшинов. М., 2008. – 28с.

Содержанием работы является изучение принципа действия и устройства лазерной установки «БетаМарк 2000». В работе проводится составление программ лазерной маркировки различных изделий, назначение режимов обработки и выполнение обработки.

Для студентов III курса ФЭ.

Ил. 16. Библиогр.: 3 назв.

ISBN 5-94506-133-6

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомление с принципом действия и конструкцией технологической лазерной установки «БетаМарк 2000».

2. Исследование режимов лазерной обработки различных конструкционных материалов и полупроводников.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**1. Физические основы работы лазеров.**

Лазер – источник (генератор) когерентного электромагнитного (оптического) излучения формируемого путем вынужденного (стимулированного) излучения микрочастиц (атомов, молекул) вещества.

Термин «лазер» (от аббревиатуры LASER, составленной из начальных букв фразы «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation») отражает «усиление света в результате вынужденного излучения».

Таким образом, лазерное излучение (ЛИ) – это вынужденное монохроматическое излучение широкого диапазона длин волн от единиц нанометров до десятков и сотен микрометров.

Наряду с волновой природой электромагнитное излучение во многих случаях проявляет корпускулярную природу: оно представляет собой последовательность дискретных порций (квантов) энергии, называемых фотонами.

Энергия фотона

$$E = h\nu = hc/\lambda,$$

где $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж ; с – постоянная Планка; ν – частота излучения; λ – длина волны излучения; *c* – скорость распространения электромагнитного излучения (скорость света).

Так, например, в дифракции и интерференции преобладает волновая природа света, в других явлениях, обусловленных явлениями поглощения света атомными или молекулярными системами – квантовая природа света.

Лазерное излучение перекрывает диапазон длин волн $10^{-5} – 10^{-2}$ см (от ближней ультрафиолетовой до инфракрасной области, включая видимую). Используемые на практике лазеры генерируют излучение с длиной волны λ = 0,3 – 10,6 мкм:

- азотный (ультрафиолетовый) с λ = 0,3371 мкм;
- аргоновый – излучение с несколькими длинами волн в сине-зеленой области спектра;
- гелий-неоновый – с λ = 0,632 мкм;
- на арсениде галлия с λ = 0,85 - 0,9 мкм;
- рубиновый с λ = 0,6943 мкм;

- на стекле с неодимом – излучение в ближней инфракрасной области с $\lambda = 1{,}06$ мкм;

- на $CO_2$ - излучение в дальней инфракрасной области с $\lambda = 10{,}6$ мкм.

Принцип работы лазеров основывается на понятии энергетических уровней (или уровней энергии) – значений энергии атома, молекулы и других квантовых систем (состоящих из электронов, ядер, атомов и т.д. и подчиняющихся квантовым законам, характерным для микромира).

Важнейшее свойство квантовой системы, состоящей из микрочастиц (атом, ядро, электроны), заключается в том, что ее внутренняя энергия $E$ может принимать только определенные дискретные значения $E_0, E_1, \ldots E_n$ $(E_0 < E_1 < E_2 \ldots)$. При этом каждому из этих разрешенных значений энергии соответствует одно или несколько устойчивых состояний движения частиц в системе, т.е. возможны только определенные дискретные квантовые орбиты движения частиц (электронов, ядер и др.).

Любое изменение энергии $E$ системы определяется скачкообразным переходом системы из одного устойчивого состояния в другое – с одного энергетического уровня на другой.

Структура энергетического спектра, т.е. число и расположение энергетических уровней, различна для разных квантовых систем и определяется характером взаимодействия образующих ее микрочастиц – потенциальной энергии системы.

В естественных условиях, когда вещество (система) находится в тепловом равновесии с окружающей средой, его частицы занимают преимущественно нижние уровни. Однако в результате взаимного влияния микрочастиц и их взаимодействия с внешними электромагнитными полями некоторая часть частиц в системе всегда будет находиться на более высоких уровнях. Положение частиц на верхних уровнях не является неизменным, они могут самопроизвольно переходить с одного уровня на другой. При самопроизвольном (спонтанном) переходе на нижние уровни частицы хаотически излучают фотоны с различными длинами волн, т.е. имеют широкий волновой спектр. Примером такого излучения является излучение обычных источников света – ламп накаливания, газосветных и др.

Предположим, что имеется вещество, состоящее из атомов, которые могут занимать только два уровня $E_1$ и $E_2$, причем $E_1<E_2$. Если облучать вещество, атомы которого находятся на уровне $E_2$, фотонам с энергией, равной $E_2 - E_1$, то под действием этих фотонов атомы могут перейти обратно на уровень $E_1$. При этом возникают дополнительные фотоны, имеющие энергию $E_2 - E_1$. Этот процесс называется *вынужденным испусканием света*. «Вынуждает» облучающий фотон, который «сталкивает» атом с верхнего энергетического уровня на нижний. В такой процесс вынужденного излучения вовлечены два фотона: первичный

(вынуждающий) и вторичный (испущенный возбужденной микрочастицей). Существенно, что оба фотона обладают одинаковой частотой, фазой, направленностью дальнейшего распространения, имеют одну и ту же энергию (рис. 1).

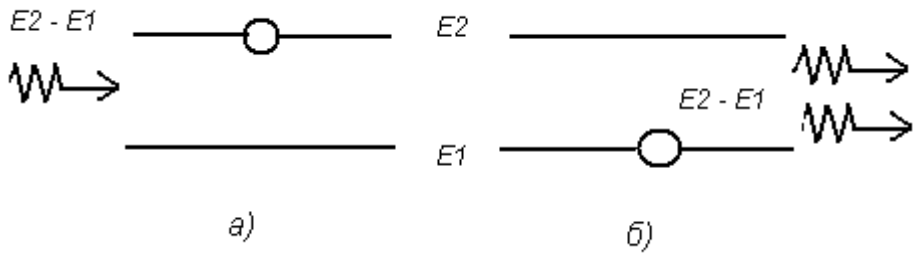


Рис.1 Схемы поглощения кванта света (*а*) и вынужденного испускания света (*б*)

Таким образом, имеется два типа процессов испускания фотонов атомами и молекулами: вынужденное и спонтанное. Первый процесс управляемый – его инициирует первичный фотон, который не только вызывает переход атома с уровня $E_2$ на уровень $E_1$, но и определяет направление движения возникающего нового фотона. Второй процесс имеет случайный характер: случаен момент перехода, случайно направление движения родившегося фотона.

Вынужденное излучение является *когерентным*. Когерентность рассматривается как согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов, проявляющееся при их сложении. Колебания называют когерентными, если разность их фаз остается постоянной во времени и при сложении колебаний определяет амплитуду суммарного колебания. Два гармонических (синусоидальных) колебания одной частоты когерентны.

Для получения вынужденного излучения искусственно создается возбужденная квантовая система, в которой частицы находятся преимущественно на верхних уровнях. Такая микросистема называется ***активной средой***. Отдельные атомы или молекулы этой среды обладают очень важным свойством: оказавшись на одном из верхних энергетических уровней, они могут относительно долго оставаться на нем, не торопясь самопроизвольно возвратиться на нижние уровни. Поэтому можно "накопить" достаточно много атомов (молекул) на верхнем уровне так, что их станет значительно больше, чем на нижних уровнях. В результате будут созданы условия для преобладания процессов вынужденного испускания света над процессами поглощения света. Уровень, на котором можно накопить избыток атомов или молекул, называют ***долгоживущим***, а сами атомы и молекулы — ***активными центрами.***

На рис. 2 показана упрощенная схема энергетических уровней иона неодима в гранате. Поглощая излучение специальной лампы-осветителя,

ионы неодима возбуждаются и переходят на верхние уровни 3. Затем очень скоро они переходят на уровень 2 и там накапливаются. Уровень 2 и есть долгоживущий уровень, о котором говорилось ранее. Активный элемент будет готов к работе тогда, когда на уровне 2 накопится значительно больше ионов неодима, чем их имеется на уровне 1. Теперь достаточно "сигнала", роль которого сыграет фотон с энергией, равной разности энергий уровней 2 и 1, чтобы произошел переход ионов неодима с уровня 2 на уровень 1. В результате этого перехода возникает лавина фотонов, которая будет представлять собой лазерное излучение.

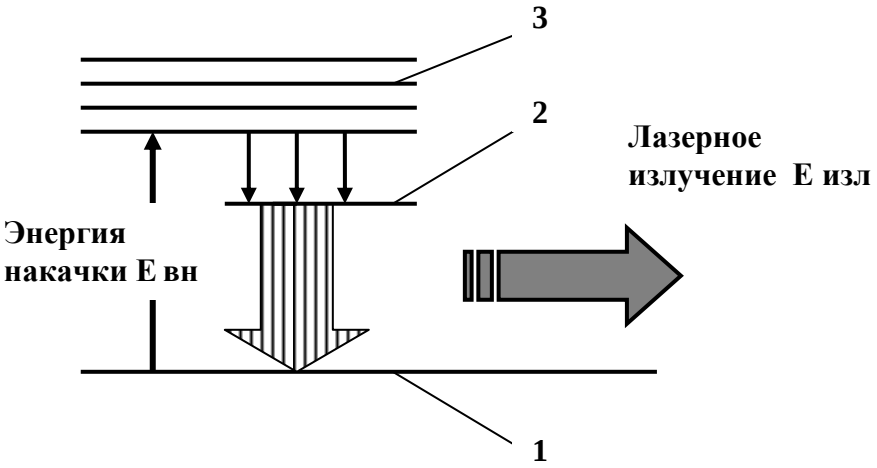


Рис.2. Трехуровневая схема энергетических состояний неодима в гранате

На рис. 3 схематично показаны элементы, необходимые для возбуждения активных центров в лазере на гранате с неодимом. Активный элемент и лампа накачки имеют цилиндрическую форму. Их помещают внутрь отражателя таким образом, чтобы большая часть световой энергии, испускаемой лампой накачки, концентрировалась на активном элементе.

Когда говорят о возбуждении активных центров, применяют термин "накачка", имея в виду, что активные центры как бы накачиваются энергией, накапливаясь на долгоживущем уровне. Накачка может производиться с помощью мощных световых импульсов, генерируемых лампой-вспышкой (импульсная накачка). Возможно также непрерывное облучение активного элемента лампой-осветителем (непрерывная накачка).

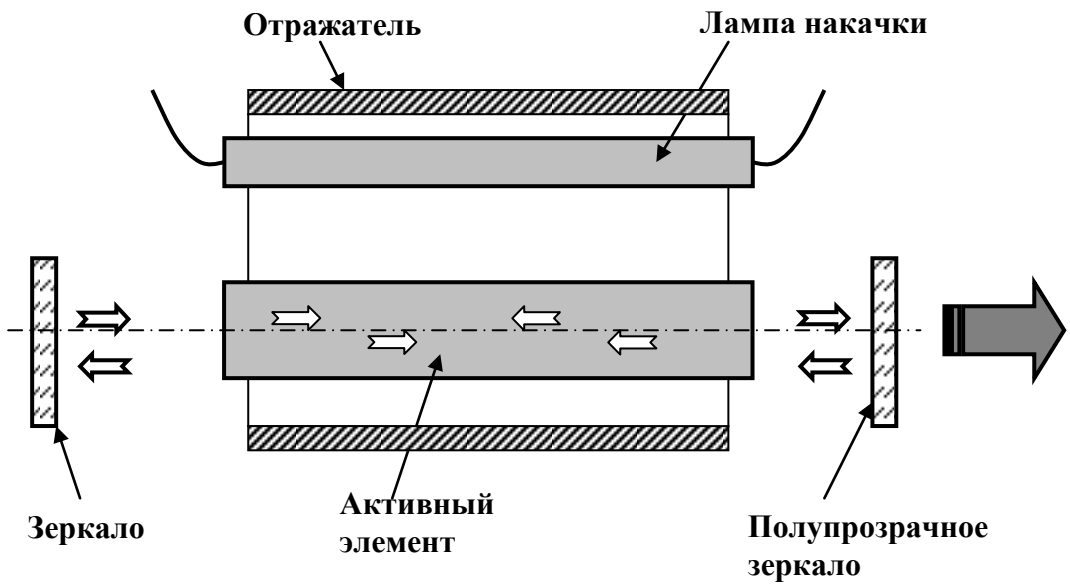


Рис.3. Основные элементы лазерной системы

Таким образом, накачка обеспечивает возбуждение активной среды, необходимое для генерации светового пучка. Теперь важно понять, как зарождается генерация лазерного излучения.

Начинается процесс со спонтанного испускания света. Роль первичных фотонов, дающих начало процессу лазерной генерации, играют фотоны, которые родились в результате спонтанных переходов активных центров с уровня 2 на уровень 1 (см. рис. 2). Каждый спонтанно родившийся фотон может затем инициировать появление целой лавины вторичных фотонов, летящих в том же направлении, что и первичный фотон. Но спонтанно рождающиеся фотоны испускаются активными центрами несогласованно во времени и притом в самых разных направлениях. Значит, в разных направлениях будут распространяться лавины вторичных фотонов.

Чтобы упорядочить процесс генерации лазерного излучения, используется оптический резонатор. ***Оптический резонатор*** — это два зеркала с общей оптической осью, которая фиксирует в пространстве направление лазерного луча. Активный элемент находится между зеркалами, т.е. внутри резонатора (рис. 4). Направление генерации лазерного излучения обозначено на рис. 4 стрелкой.

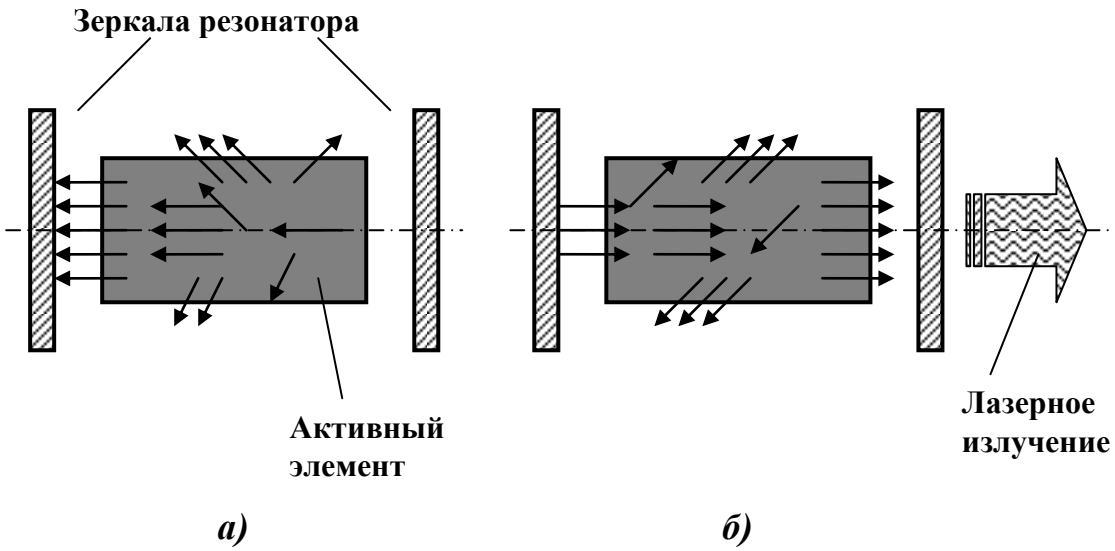


Рис. 4. Развитие фотонной лавины вдоль оси резонатора :
*а* – начало процесса, *б* – конец процесса

Спонтанные фотоны, случайно родившиеся в направлении оси, будут проходить внутри активного элемента относительно длинный путь, который многократно увеличивается вследствие отражения излучения от зеркал резонатора. Взаимодействуя с возбужденными активными центрами, эти фотоны инициируют мощную лавину вынужденно испущенных фотонов, которые образуют лазерный луч. Спонтанные фотоны, которые родились в иных направлениях, равно как и соответствующие им лавины вторичных фотонов, пройдут внутри активного элемента сравнительно короткий путь и выйдут за его пределы.

Таким образом, зеркала оптического резонатора выделяют в пространстве определенное направление, вдоль которого реализуются наиболее благоприятные условия для развития фотонных лавин. Это и есть направление лазерного луча, который выходит из резонатора через одно из его зеркал (так называемое выходное зеркало является частично прозрачным для лазерного излучения).

Оптическое излучение не только усиливается в активной среде лазера, но и в ходе развития и формирования несет определенные потери. Заметными оказываются потери на отражение от зеркал и частичный (рабочий) вывод лазерного излучения во внешнюю среду через полупрозрачное зеркало. Существенны энергетические потери на возбуждение микрочастиц. В результате в оптическом резонаторе факторы усиления и ослабления фотонов выравниваются, и лазерное излучение стабилизируется на определенном энергетическом уровне.

При отражении от зеркала фотоны, следующие вдоль горизонтальной оси резонатора, остаются в общем оптическом потоке и пополняют (усиливают) его. Такая систематическая «подпитка» луча света

по существу эквивалентна действию положительной обратной связи, периодически усиливающей поток фотонов и обеспечивающей устойчивую генерацию лазерного излучения.

Оптические резонаторы генерируют (запасают) значительную энергию электромагнитного поля при небольшой входной мощности. Универсальным показателем, характеризующим это свойство, является добортность $Q$ резонатора.

Добротность колебательной системы определяется отношением энергии $W_k$, запасенной в резонаторе, к энергии $W_n = \rho_n T_0$, теряемой в системе за один период колебаний $T_0$ (здесь $\rho_n$ – теряемая мощность). В добротной системе потери энергии за одно колебание весьма невелики и для оптического резонатора составляет $(5 – 1000) \cdot 10^6$.

Принципиальная схема лазера проста. Она включает в себя активный элемент (активную среду), устройство для накачки активного элемента и зеркала оптического резонатора (рис. 3). В качестве активных сред используют кристаллы, специальные стекла, полупроводники, жидкие растворы красителей, газовые смеси.

Несмотря на различие в конструкции, лазеры выполняют одну и ту же функцию - являются генераторами когерентного света. Если воспользоваться волновыми представлениями, то излучение можно представить в виде "элементарных волн", зарождающихся в активной среде; их обычно называют ***волновыми цугами***. На рис. 5,*а* показано излучение некогерентного света, на рис. 5,*б* — свет идеально когерентен, т.е. все волновые цуги распространяются в одном и том же направлении, имеют одинаковую длину волны и находятся в фазе друг с другом. Когерентность лазерного луча проявляется, прежде всего, в высокой степени его монохроматичности, т.е. получаемое излучение, имеет практически одну длину волны. Так, лазер на основе граната с неодимом излучает свет в инфракрасной области на длине волны 1,06 мкм; $C0_2$-лазер генерирует инфракрасное излучение на длине волны 10,6 мкм.

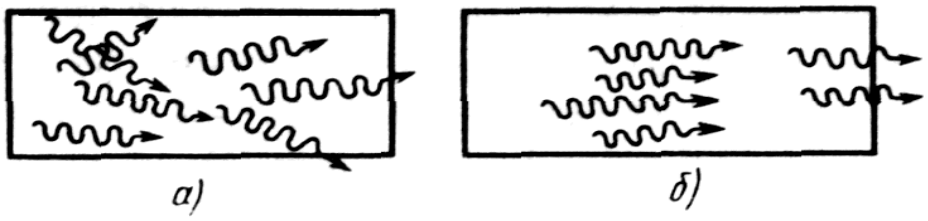


Рис. 5. Некогерентное (а) и когерентное (б) излучения

Высокая степень когерентности проявляется также в очень малой расходимости лазерного луча (угол расходимости соответствует приблизительно одной угловой минуте).

Если представить пучок с высокой степенью когерентности в виде совокупности световых лучей, то все эти лучи будут практически параллельны и, как уже отмечалось, монохроматичны. Это позволяет сфокусировать их в пятно диаметром, равным длине световой волны, т.е. примерно 1 — 10 мкм.

Лазерное излучение отличается не только когерентностью, но и возможностью необычайно сильно концентрировать световую энергию в пространстве. Если допустить, что излучение $C0_2$-лазера мощностью 1 кВт сфокусировано на площадке диаметром 1 мм, то интенсивность лазерного луча будет составлять $10^5$ Вт/см$^2$. Подобная плотность мощности достаточна, чтобы плавить многие металлы при их обработке.

## 2. Описание и технические характеристики установки «БетаМарк - 2000»

Установка “БетаМарк-2000” предназначена для нанесения изображений в контурном и растровом (с заполнением) виде на металлы, пластики, резину, некоторые виды камней и другие материалы.

При воздействии лазерного луча на металлы и неметаллические материалы происходит нагрев до высокой температуры, плавление и испарение материала. Это приводит к появлению следа (отпечатка) на участке воздействия лазерного луча. Таким образом, перемещая деталь относительно луча, можно получить на поверхности то или иное изображение в виде цифр, букв, знаков или рисунков. Это свойство лазерного излучения используется для маркировки отдельных деталей и готовых промышленных изделий.

Известны различные методы маркировки в виде ударного механического клеймения, гравировки, окраски через трафареты, травления и др. Лазерная маркировка, в отличие от других известных методов, обладает бесспорными преимуществами, заключающимися в высокой скорости маркировки, отсутствии механического воздействия, легкости управления и возможности автоматизации процесса. Благодаря этому лазерную маркировку можно рекомендовать к применению для деталей различных размеров, имеющих сложную конфигурацию, хрупких изделий, для маркировки с высокой скоростью непосредственно в процессе изготовления.

Маркировка осуществляется нанесением, с помощью сфокусированного лазерного излучения, отдельных точек, образуемых в результате испарения материала на поверхности. Оптическая система в

виде сканирующих зеркал управляется с помощью ЭВМ, обеспечивая перемещение лазерного луча по заранее заданной программе. При этом на обрабатываемом материале формируется отдельный рисунок, либо проводится запись буквенной или цифровой информации.

Для такой маркировки обычно используют твердотельные лазеры как на алюмоиттриевом гранате (ИАГ), так и на кристаллах рубина. В промышленных установках применяют короткие импульсы длительностью несколько микросекунд и менее с энергией порядка миллиджоулей, создаваемые ИАГ - лазерами. Метки, получаемые при этом на металлической поверхности, имеют незначительную глубину, измеряемую несколькими микрометрами. При необходимости нанесения более глубоких меток следует использовать более длительные импульсы. Однако при этом производительность маркировки снижается, так как уменьшается частота повторения импульсов.

Лазерная установка “БетаМарк - 2000” имеет следующие технические характеристики:

**ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

| | |
|---|---|
| Размер зоны обработки | 100x100 мм |
| Размер знаков | от 1 до 100 мм |
| Скорость обработки | от 1 до 2500 мм/сек |
| Ширина линии с автоматическим заполнением | от 0,05 до 10 мм |
| Тип шрифта | любой по заказу |
| Тип выводимых изображений | контурные и растровые |
| Маркируемые материалы | сталь, алюминий, титан, бронза, резина, пластмасса, полупроводники и др. |
| Типичные скорости маркировки материалов: | |
| пластмасса | 150...200 мм/сек |
| сталь | 30...50 мм/сек |
| латунь | 20...30 мм/сек |

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ**

| | |
|---|---|
| Тип лазера | Nd-YAG |
| Мощность | 16 Вт ($TEM_{oo}$) |
| Расходимость | 4 мрад |
| Частота модуляции | до 100 кГц |
| Охлаждение | двойной контур |
| внутренний | дистиллят (15 литров) |
| внешний | техническая вода (до 25$^{o}$C) |
| Электропитание | ~3x380 В, 50 Гц, 16 А |
| Габаритные размеры | 1120 x 200 x 200 мм |

**ПАРАМЕТРЫ СКАНИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

| | |
|---|---|
| Тип оптики | гальванометр с подвесным зеркалом |
| Программное разрешение | 2,5 мкм |
| Глубина фокусировки | до 3 мм |
| Рабочее поле | 100x100 (50x50) мм |
| Воспроизводимость | 0,05 (0,025) мм |

## 2.1. Общая схема установки

Общая структурная схема установки представлена на рис. 6.

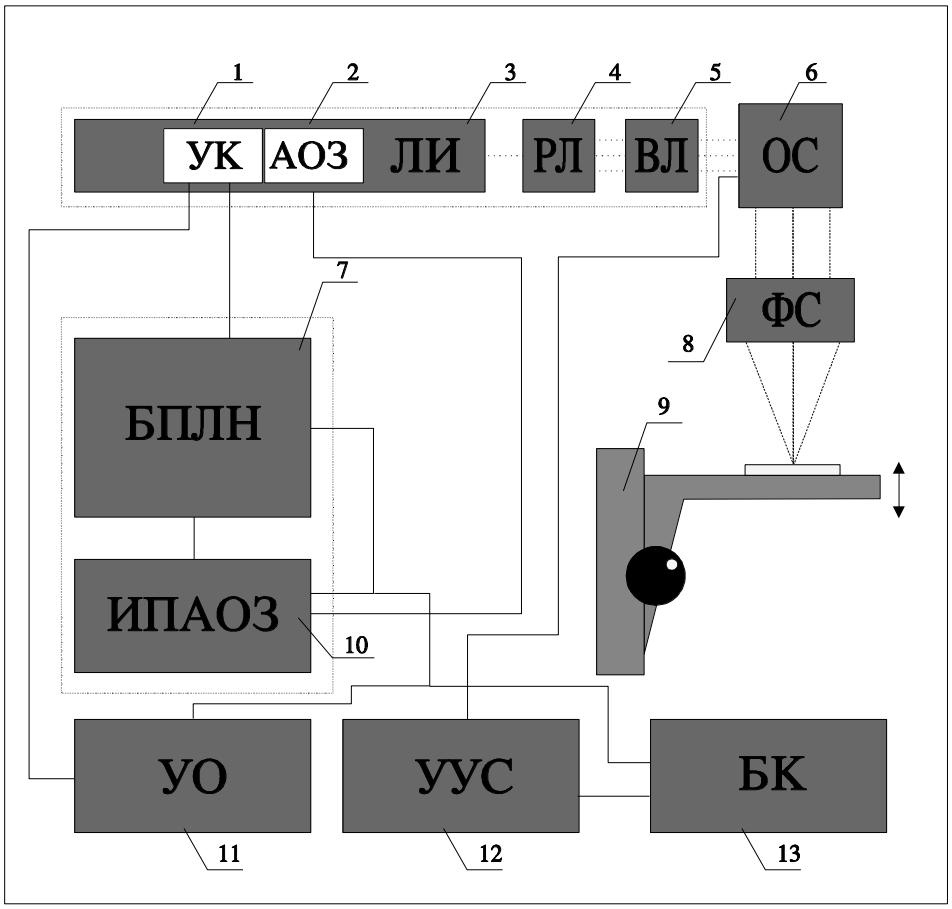


Рис.6. Структурная схема установки:

1 - узел квантрона; 2 - акустооптический затвор (АОЗ); 3 - лазерный излучатель; 4 - расширитель луча (телескоп); 5 - визуализирующий лазер; 6 - отклоняющая система; 7 - блок питания лампы накачки; 8 - фокусирующая система;
9 - стол подачи изделия; 10 - источник питания АОЗ; 11 - устройство охлаждения; 12 - устройство управления сканаторами; 13 - блок коммутации

Основным элементом установки является *лазерный излучатель (ЛИ)* ***3***. Он генерирует непрерывное, когерентное, монохромное излучение с длиной волны 1.064 мкм, что соответствует инфракрасному диапазону. Основной луч, таким образом, невидим человеческим глазом, что необходимо учитывать при настройке и работе с излучателем. **ЛИ** имеет в своем составе ***узел квантрона 1*** (**УК**) в котором закреплены лампа накачки и активный элемент. Кроме этого в **ЛИ** находится ***акустооптический затвор 2*** (**АОЗ**). Назначение и принцип действия этих и других компонентов **ЛИ** описано ниже. *Расширитель луча* ***4*** (**РЛ**) расположенный после **ЛИ** предназначен для расширения диаметра поперечного сечения луча в 6..8 крат и представляет собой телескоп, просветленный на длину волны 1.064мкм с целью уменьшения потерь. Узел ***визуализирующего лазера 5*** (**ВЛ**) предназначен для введения в рабочий луч излучения с длиной волны 0.63мкм. (красный цвет) соосно и коаксиально с целью “подсветки” (визуализации) основного излучения. Для развертки луча в двух взаимно перпендикулярных направлениях служит ***отклоняющая система 6*** (**ОС**). Далее по ходу луча находится ***фокусирующая система 8*** (**ФС**) предназначенная для сведения излучения в рабочей плоскости (плоскости обработки) в пятно минимальных размеров (для данной установки порядка 0.1мм.), с целью достижения высокой плотности мощности в зоне обработки. Для удобства вывода маркируемой поверхности изделия в рабочую зону обработки служит ***стол подачи*** **9**.

Для обеспечения работы вышеуказанных устройств служат следующие блоки:

- ***Блок питания лампы накачки 7*** (**БПЛН**) предназначен для поджига и обеспечения требуемого тока через лампу накачки.
- ***Источник питания акусто-оптического затвора 10*** (**ИПАОЗ**) выдает высокочастотный сигнал необходимого напряжения на **АОЗ**.
- ***Устройство управления сканаторами 12*** (**УУС**) служит для формирования сигнала на гальванометрические сканаторы и обработки сигнала обратной связи по положению.
- ***Устройство охлаждения 11*** предназначено для отвода тепла выделяющегося в квантроне и АОЗе.

Работа всех этих устройств управляется и синхронизируется во времени с помощью ***блока коммутации 13*** (**БК**).

Конструктивно установка собрана в двух стойках.

В **стойке питания и управления** находятся:

- Блок питания лампы накачки;
- Устройство управления сканаторами (УУС);
- Источник питания акустооптического затвора;
- Устройство охлаждения;

- Блок управления;

В **стойке излучателя (рис.7)** находятся:

- Лазерный излучатель;
- Акустооптический затвор;
- Расширитель луча (РЛ);
- Визуализирующий лазер (ВЛ);
- Отклоняющая система (ОС);
- Фокусирующая система (ФС);
- Стол подачи изделия (СПИ);

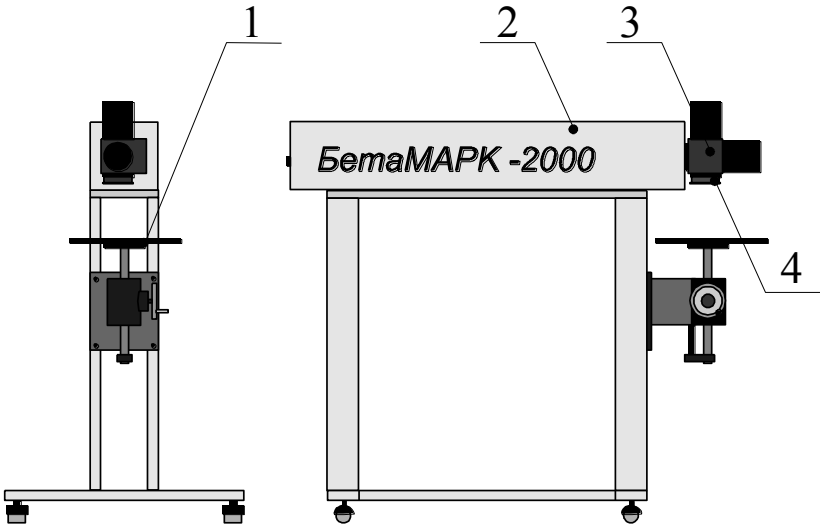


Рис.7. Стойка излучателя:

1 - стол подачи изделия; 2 – кожух лазерного излучателя; 3 - отклоняющая система; 4 - фокусирующая система

## 2.2. Оптическая схема лазерного излучателя

Схема оптического тракта установки представлена на рис. 8.

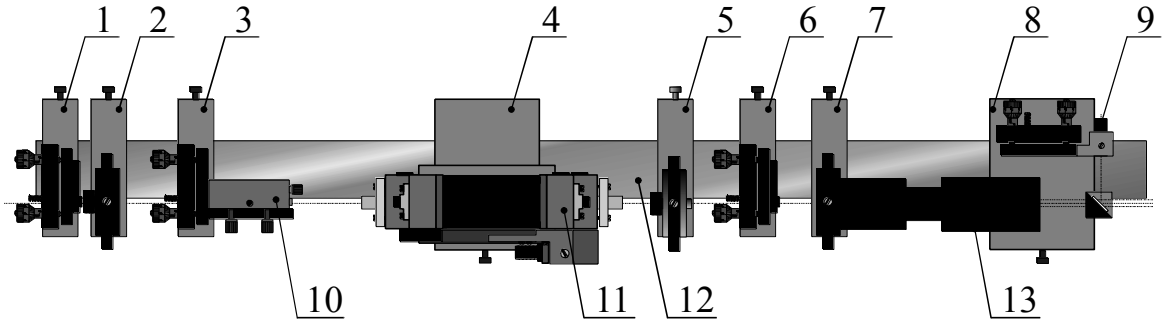


Рисунок 8. Схема оптического тракта:

1 - узел заднего зеркала; 2 - узел задней диафрагмы; 3 - узел затвора (АОЗ);
4 - узел квантрона; 5 - узел передней диафрагмы; 6 - узел переднего зеркала;

7 - узел расширителя луча; 8 - узел визуализирующего лазера; 9 – визуализирующий лазер (ВЛ); 10 - акустооптический затвор (АОЗ); 11 – квантрон;
12 - скамья оптическая; 13 - расширитель луча (телескоп)

Все узлы оптических элементов расположены на несущей ***оптической скамье 12*** и закреплены на съемных опорах.

Источником основного лазерного излучения является резонатор собранный на элементах ***1, 2, 3, 4, 5, 6***. ***Заднее*** и ***переднее зеркала 1*** и ***6*** образуют устойчивый резонатор. Источником энергии является лампа накачки закрепленная в ***квантроне 11***. Световая энергия лампы накачки преобразуемая в энергию возбуждения электронов атомов активного элемента из алюмоиттриевого граната (АИГ) и с КПД порядка 1 - 5% является источником монохромного и когерентного электромагнитного излучения с длиной волны 1.064 мкм мощностью порядка 60 Ватт. Распределение мощности в поперечном сечении соответствует многомодовому излучению, что не позволяет достигнуть высокой плотности мощности в пятне фокусировки, необходимой для лазерной маркировки металлов. С целью улучшения качества излучения в резонатор введены ***передняя*** и ***задняя диафрагмы 2*** и ***5,*** которые уменьшают выходную мощность до 16 Ватт, но приводят излучение к $ТЕМ_{00}$. С целью увеличения выходной апертуры луча применен ***расширитель луча 13***. Для «подсветки» основного лазерного излучения используется ***визуализирующий лазер 9*** укрепленный в ***узле 8.***

Все оптические элементы находятся на ***оптической скамье 12*** в положении, определяемом размерной оптической схемой и настраиваются по определенной методике.

### 2.3. Отклоняющая система.

Отклоняющая система (ОС) выполнена на основе двух гальванометрических сканаторов преобразующих электрический сигнал управления в отклонение вала двигателя сканатора и зеркала укрепленного на нем (рис. 9).

Принцип действия такой системы заключается в следующем. На пути следования лазерного луча установлена фокусирующая линза (в простейшем случае) или объектив. Сфокусированный луч направляется на поворотное зеркало, укрепленное на валу X-сканатора, и отклоняется по оси *X*. Отклоненный таким образом луч попадает на зеркало Y-сканатора установленное под углом $90^0$ по отношению к первому. Y-сканатор осуществляет развертку луча по оси *Y*. Таким образом, отклоняющая система в целом разворачивает луч по двум взаимно перпендикулярным осям, то есть в плоскости.

Плоскость, в которой происходит фокусирование лазерного луча, носит название ***фокальная плоскость***. Она и является рабочей зоной нанесения

изображения. Область, в которой качество нанесения (ширина линии и другие параметры) остаются неизменными, называется ***зона перетяжки***. Как правило, эта область распространена по глубине на 2..3 мм и зависит от свойств материала изделия.

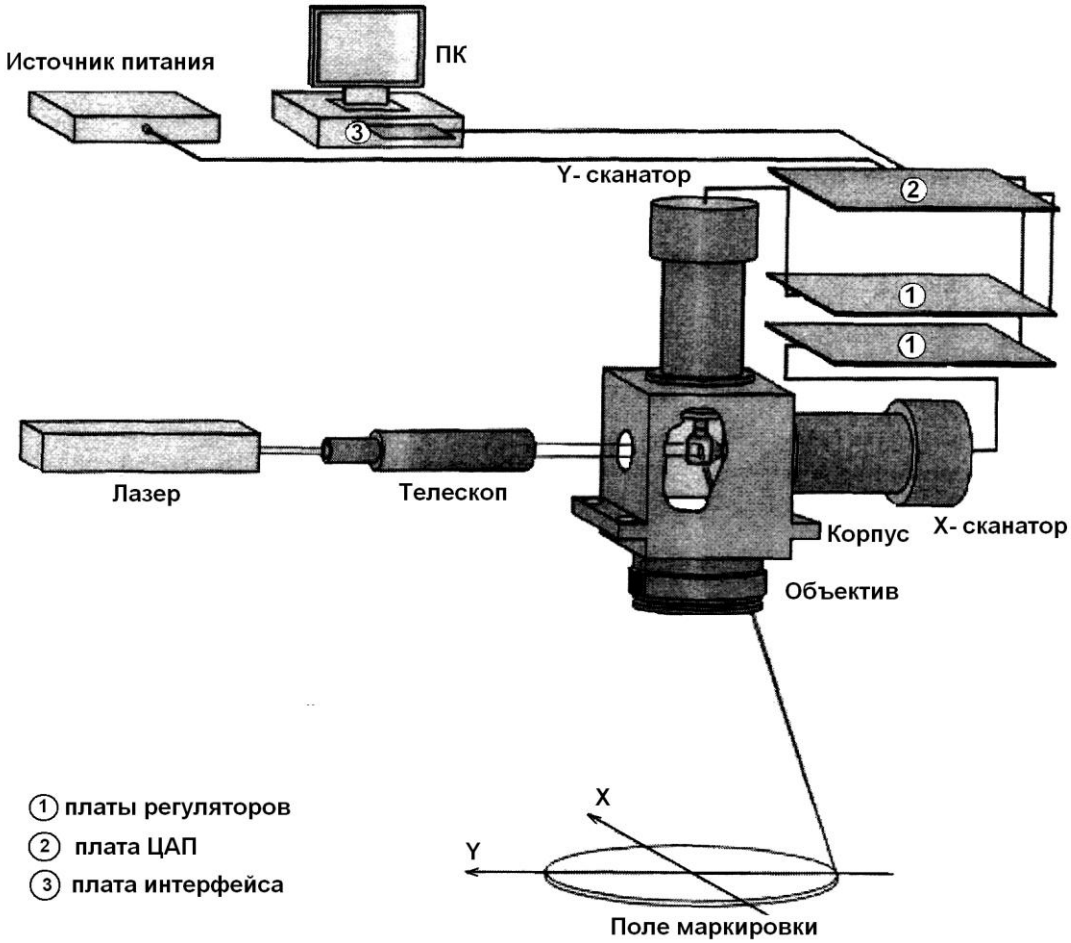


Рис. 9. Схема работы отклоняющей системы

Внешний вид отклоняющей системы приведен на рис. 10.

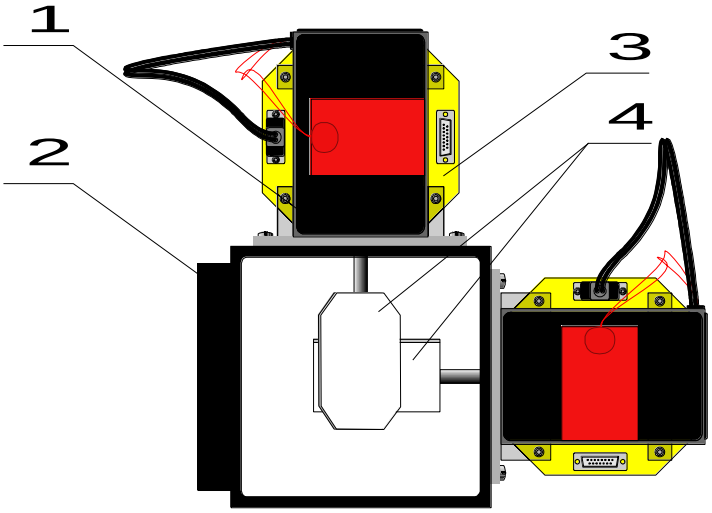


Рисунок 10. Отклоняющая система:
1 - сканатор Y; 2 - корпус ОС; 3 - плата управления сканатором Y;
4 - зеркала сканаторов

ОС крепится в передней части стойки излучателя на цилиндрическом фланцевом кронштейне, который позволяет поворачивать ОС для работы положениях отличных от горизонтали.

## 2.4. Акустооптический затвор

Для создания импульсного режима работы лазера используется акустооптический затвор, принцип действия которого основан на использовании акустооптического эффекта – изменения показателя преломления вещества под действием акустических колебаний ультразвуковой (УЗ) частоты. Для генерирования УЗ колебаний применяют пьезоэлектрические излучатели, которые энергию высокочастотных электрических колебаний преобразуют в механические (упругие) колебания той же частоты. Излучатель ультразвука прикрепляют к торцу акусточувствительного кристалла и, при подаче переменного электрического напряжения, создает в этом кристалле периодические упругие колебания (механические микродеформации). Таким образом, в кристалле, воспринимающем УЗ волны, периодически формируются области сжатия и разряжения. Коэффициенты преломления таких областей, которые в первом приближении пропорциональны плотности среды, различны. УЗ волна, распространяясь вдоль оси кристалла, периодически деформирует среду и создает в ней полосы сжатия и разряжения. Ритмично (по оси) изменяется коэффициент преломления ***n*** кристалла. Таким образом, в кристалле под действием УЗ волн искусственно создается дифракционная решетка. Схема, поясняющая принцип действия акустооптического преобразователя, представлена на рис. 11.

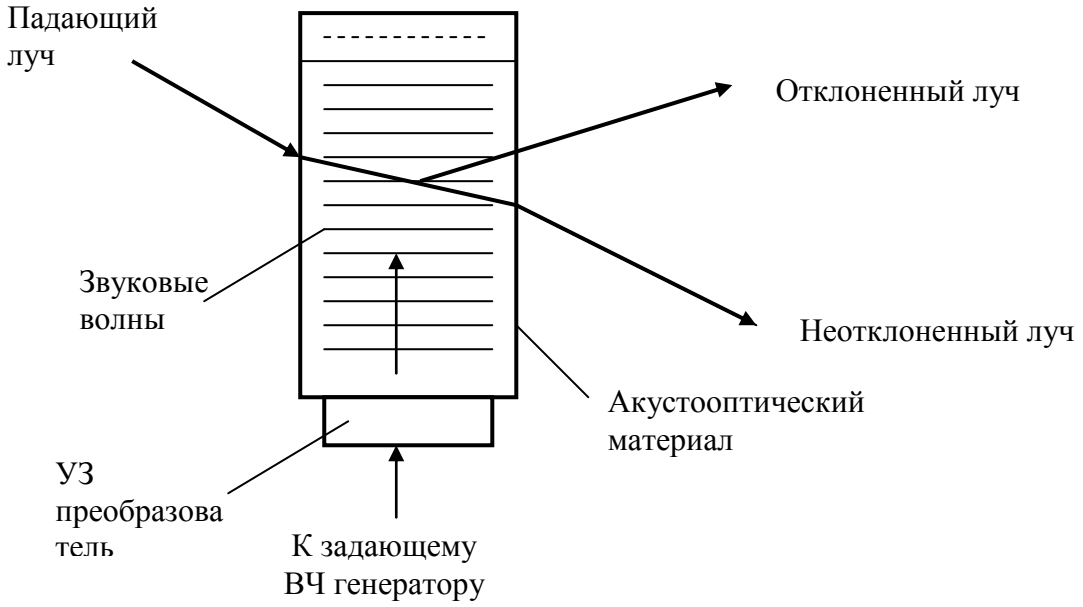


Рис. 11. Принцип действия акустооптического затвора

Базовым элементом любого акустооптического устройства является акустооптическая ячейка, в состав которой входят электроакустический преобразователь, среда акустооптического взаимодействия – светозвукопровод и поглотитель упругих колебаний – акустическая нагрузка (рис. 12.).

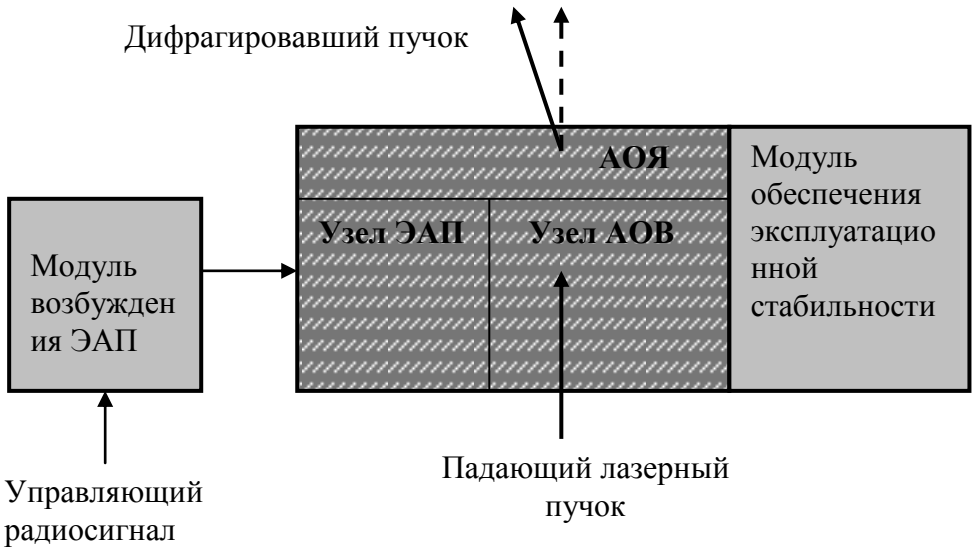


Рис. 12. Основные элементы акустооптического затвора:
АОЯ – акустооптическая ячейка; ЭАП – электроакустический преобразователь;
АОВ – среда акустооптического взаимодействия

Возникающая в материале затвора гребенка стоячих продольных волн сжатия играющая роль дифракционной решетки, отклоняет излучение активной среды. Хотя угол дифракционного отклонения не превышает 0,5˚, значительная часть такого дифрагированного света не попадает на

зеркало оптического резонатора, добротность резонатора резко понижается и генерация лазерных колебаний срывается (рис. 13). При выключении управляющего напряжения затвор открывается, и лазер генерирует световой импульс определенной длительности.

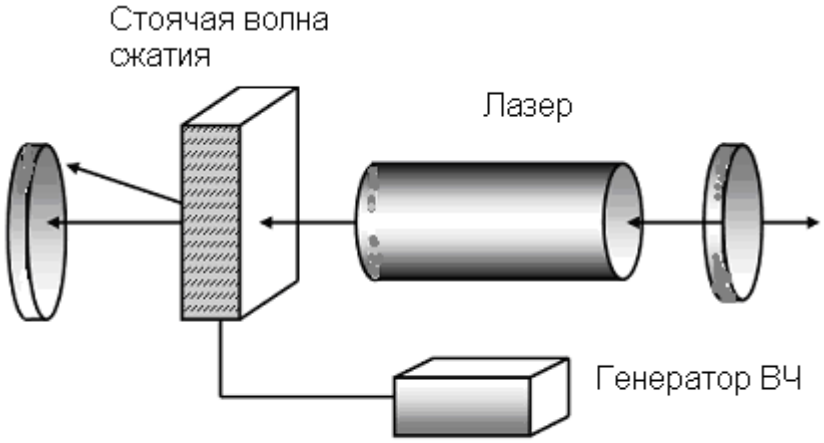


Рис. 13. Схема действия акустооптического затвора

## 2.5. Фокусирующая система.

Для любой оптической системы существует конечный предел остроты фокусировки, называемый дифракционным. Он определяет минимальный размер фокального пятна и, как следствие, максимальную достижимую плотность мощности излучения.

В лазерном резонаторе оптическое излучение многократно отражается, формируется, распространяется вдоль горизонтальной оси резонатора в виде электромагнитных колебаний строго определенного вида – лазерной моды. Мода – определенный вид электромагнитных колебаний, которые возбуждаются, распространяются в сложных колебательных системах (объемных резонаторах). Формирование моды зависти от пространственной конфигурации колебательной системы и она определяет форму поперечного сечения лазерного луча.

Фокусирующая система установки представляет собой объектив (рис. 14), просветленный на длину волны основного лазерного излучения 1.064 мкм. Фокусное расстояние его составляет 210 мм. При входной апертуре излучения 12 - 15мм объектив позволяет получить в фокальной плоскости пятно диаметром около 100 мкм, что при импульсной мощности порядка нескольких сотен Ватт, дает плотность мощности в зоне обработки $10^6..10^7$ Вт/см$^2$.

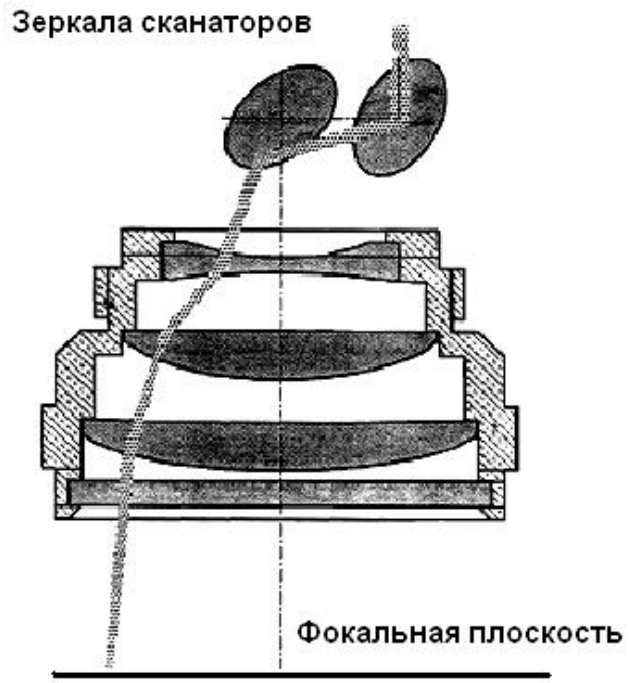


Рис. 14. Объектив установки «БетаМарк - 2000»

### 2.6. Визуализирующий лазер

Длина волны лазерного излучения установки равна 1,06 мкм, т.е. лежит в невидимой области спектра. Для определения места обработки изделий используется визуализирующий лазер.

В качестве визуализирующего используется полупроводниковый лазер мощностью 3.5мВт излучающий на длине волны 0.650 мкм. Это соответствует красному цвету. Питается полупроводниковый лазер от источника постоянного тока напряжением 3В.

### 2.7. Система охлаждения установки

Система охлаждения установки (рис. 15) предназначена для обеспечения нормального теплового режима работы квантрона и акустооптического затвора. Система состоит из двух контуров – внутреннего и внешнего. В качестве теплоносителя внутреннего контура используется дистиллированная вода (в дальнейшем - дистиллят) циркулирующая по замкнутому контуру и этот контур предназначен для охлаждения указанных элементов установки. Внешний контур питается от магистрального водопровода и предназначен для охлаждения воды внутреннего контура.

Внутренний контур охлаждения. В качестве основной накопительной емкости используется бак дистиллята емкостью 8 литров. Дистиллят под давлением, создаваемым помпой, поступает через расходомер и фильтр механической очистки на выходной штуцер внутреннего контура. Пройдя квантрон излучателя, нагретый дистиллят поступает сквозь входной штуцер внутреннего контура обратно в бак дистиллята, где отдает полученное тепло через теплообменник во внешний контур охлаждения. Теплообменник представляет собой длинную трубку, погруженную в дистиллят.

Внешний контур охлаждения. Вода поступает с входного штуцера внешнего контура через электромагнитный впускной клапан на теплообменник, а затем на радиатор и покидает систему через выходной штуцер внешнего контура.

Конструктивно блок охлаждения размещен в нижней части стойки питания и управления установки и все его элементы укреплены на днище стойки. Крепление помпы произведено через виброопоры уменьшающие шумовые и вибрационные эффекты, возникающие при работе мотора помпы.

Для обеспечения дистанционного контроля подтекания воды из системы в нижней части устройства охлаждения установлен «датчик росы» реагирующий на появление влаги.

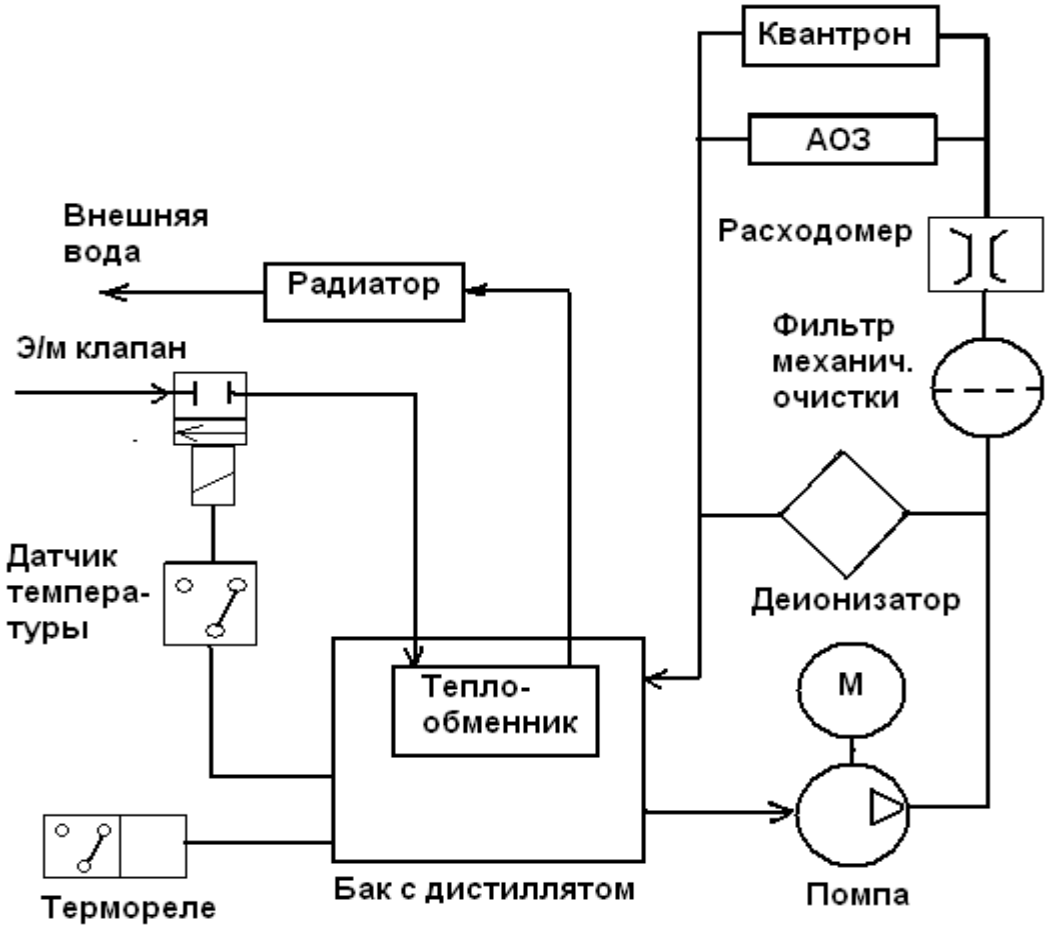


Рис. 15. Схема системы охлаждения

## 3. Программный комплекс «БетаСОФТ»

Программный комплекс “БетаСОФТ” (ПК) предназначен для запуска, управления, диагностики и тестирования при работе в составе программно-аппаратных средств прецизионного лазерного маркирующего комплекса (ПЛМК) “БетаМАРК-200” предназначенного для нанесения графической и текстовой информации на материалы методом лазерной маркировки.

Основными задачами, решаемыми ПК являются

- трансляция исходного текста контурной программы управления из файлов макроязыка в исполняемый ПЛМК код, выполненный в простейших графических примитивах и оригинальном файловом формате ВТМ;
- просмотр и отладка контурных программ, в том числе в пошаговом режиме;

- выполнение файлов ВТМ на ПЛМК с возможностью изменения начальных технологических параметров процесса нанесения;
- тестирование оборудования ПЛМК и настройка его отдельных функциональных узлов;

ПК “БетаСОФТ” позволяет создавать, редактировать и транслировать исходные тексты программ для маркировки, при этом имеются следующие возможности:

1. вывод текста различными шрифтами;
2. изменение высоты, ширины, наклона символов, а также межсимвольного расстояния;
3. написание текста по кругу;
4. задание прямоугольного окна вывода текста;
5. позиционирование текста относительно текущей точки (выравнивание);
6. создание простейших графических примитивов (круг, многоугольник, прямоугольник со скругленными краями дуга и т.п.);
7. задание разрешающей способности вывода;
8. поворот изображения на произвольный угол;
9. программное управление технологическими параметрами процесса маркировки (скорость, мощность лазера, частота следования импульсов излучения и т.д.);
10. вывод линии с автоматическим заполнением;
11. нанесение сменного номера в автоматическом режиме;
12. маркировка штрихового кода.

Пользователю предлагается использовать для файлов имеющихся и получаемых при работе в среде "БетаСОФТ®" следующие расширения:

- **CLT** исходные тексты программ
- **HPG, HPM** файлы совместимые с форматом CLT;
- **BTM** файлы «машинного» формата;
- **CHB** файлы шрифтов.

Блок-схема взаимосвязи файловых форматов приведена на рис. 16.

Все операторы макроязыка CLT могут быть условно поделены на четыре группы по функциональному назначению:

1. Операторы для управления режимами маркировки;
2. Операторы векторной графики;
3. Операторы для вывода текста;
4. Операторы времени исполнения.

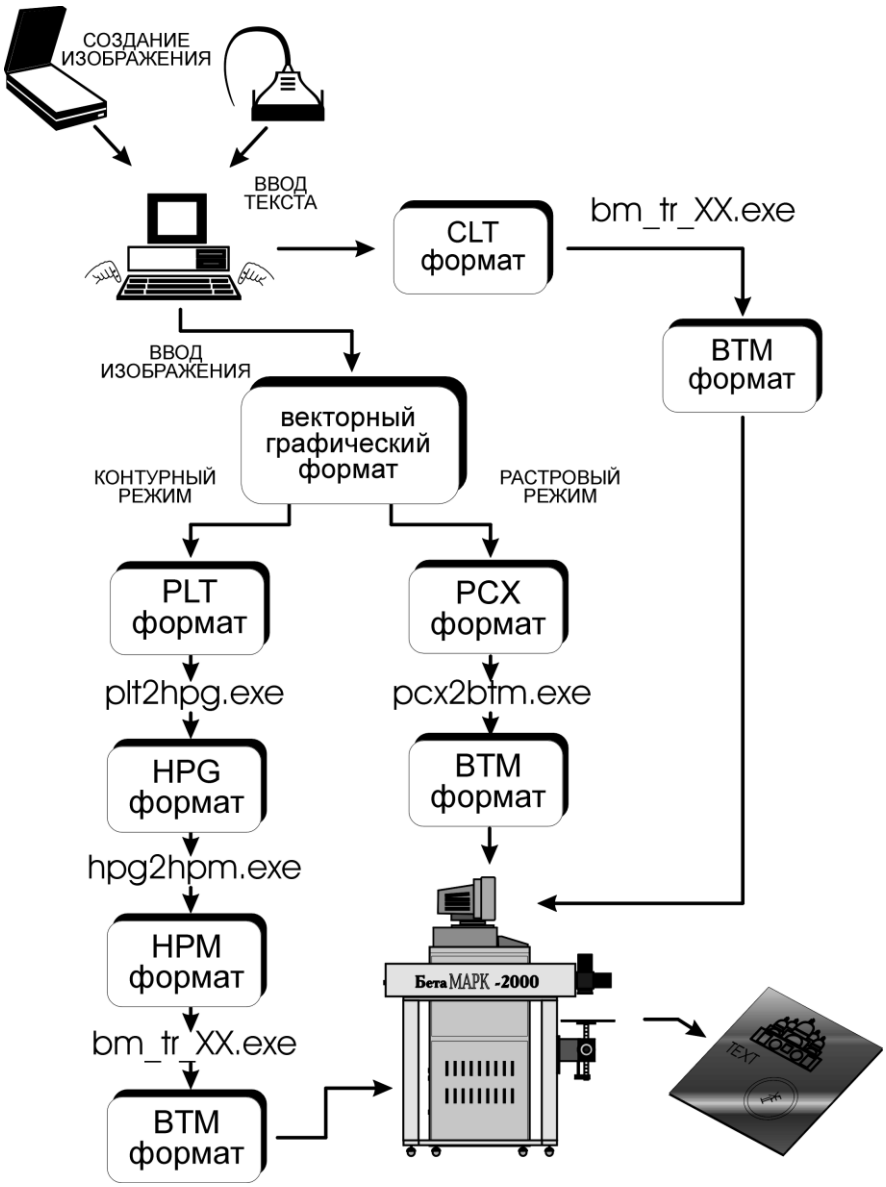


Рис. 16. Блок-схема взаимосвязи файловых форматов ПК «БетаСОФТ»

Основные операторы векторной графики (в эту группу входят операторы для формирования простых геометрических фигур, таких, как отрезок, эллипс, дуга и прямоугольник):

VAA - вектор видимый в абсолютных координатах;

VAR - вектор видимый в относительных координатах;

VPA - вектор невидимый в абсолютных координатах;

VPR - вектор невидимый в относительных координатах;

BOX - прямоугольник;

CIRCLE - эллипс.

Пример: Синтаксис VAA <x>,<y> (видимое перемещение лазерного луча из текущей позиции в точку с координатами *x, y* (мм) относительно центра поля обработки.

Операторы для вывода текста (в эту группу входят операторы для формирования текстовых надписей):

FONT - назначение параметров векторного фонта CLT, который будет использован для вывода текста,

TTFONT - назначение параметров TrueType фонта, который будет использован для вывода текста,

SIZE - задание высоты литер текста

TEXT - вывод текстовой строки

SECTOR - задание максимального углового значения сектора для вывода текста

CIRCLETEXT - вывод текста с расположением по окружности, относительно текущей позиции.

Пример: TTFONT "Arial",15,2,20 // Фонт Arial, с заливкой, высота 5 мм, хорошего качества (2), плотность заливки 20 линий/мм.

TEXT "<text>"

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. После ознакомления с настоящими методическими указаниями произвести включение установки в порядке, указанном в табл. 1.

Таблица 1. Порядок включения установки

| N п/п | Действие | Контроль состояния установки |
|---|---|---|
| 1 | Подать внешнюю воду. | Убедиться в отсутствии подтекания воды. |
| 2 | Включить внешний силовой рубильник. | |
| 3 | Повернуть силовой переключатель "ПИТАНИЕ СТОЙКИ" (SA2) в положение <I>. | Режим - **"Предварительная готовность"**, - при этом красная кнопка "СТОП" (SB3) должна мигать с частотой около 1 Гц. - если не мигает - проверить наличие питания 3x380В и состояние пакетного переключателя (SA1), защитных предохранителей и аварийного выключателя (SB1). |
| 4 | Включить питание компьютера. | Компьютер должен загрузиться (до 2 мин) |
| 5 | Повернуть ключ (SA3) по часовой стрелке | Режим - **"Готовность к запуску"**, - при этом кнопка "СТОП" должна загореться без мигания - это означает, что установка готова к запуску. |

2. Составить программу обработки изделий используя компьютер установки (под руководством преподавателя).

3. Используя возможности программного обеспечения просмотреть результаты программирования, исправить ошибки и отправить готовую программу на маркировку.

3. Назначить режимы маркировки, пользуясь рекомендациями, указанными преподавателем.

4. Установить обрабатываемое изделие на рабочий стол установки. Перемещая стол в вертикальном направлении совместить плоскость обработки с фокусной плоскостью объектива.

5. Провести обработку изделия.

6. Выключить установку, действуя в порядке, указанном в табл. 2.

Таблица 2. Порядок выключения установки

| N п/п | Действие | Контроль состояния установки |
|---|---|---|
| 1 | 1. Нажать красную кнопку "СТОП". | Погаснет лампа накачки и через 3..4 сек. выключится помпа. |
| 2 | Повернуть ключ против часовой стрелки и изъять его. | Снимется питание с УУС и блока вентиляторов в СПУ. |
| 3 | Повернуть силовой переключатель "ПИТАНИЕ СТОЙКИ" в положение <0>. | |
| 4 | Выйти из программы "МАРКЕР" и выключить питание компьютера. | |
| 5 | Перекрыть внешнюю воду. | |
| 6 | Отключить внешний силовой рубильник. | |

ФОРМА ОТЧЕТА

1. Указать название, цель и порядок проведения работы.
2. Нарисовать структурную схему установки (рис. 6).
3. Описать принцип действия основных узлов установки.
4. Указать материал обрабатываемого изделия и режимы обработки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные энергетические характеристики лазерного излучения.
2. Что такое вынужденное излучение?
3. Назовите основные элементы лазерной системы.
4. Назначение и основные характеристики установки БетаМарк 2000.
5. Принцип работы акустооптического затвора.
6. Принцип действия отклоняющей системы установки.
7. Назначение и возможности ПК «БетаСОФТ».

## Приложение

## Техника безопасности при работе на лазерных установках

### Введение

Установка “БетаМАРК-2000” является источником повышенной опасности. При работе на установке необходимо выполнять указания мер безопасности, приведенные в настоящих методических указаниях.

### 1. Электробезопасность

Установка “БетаМАРК-2000” имеет в своем составе источники высокого напряжения и лазерного излучения. В связи с этим для соблюдения электробезопасности установка снабжена:

- блокировками, отключающими электропитание установки в случае:
  - снятия одного из защитных кожухов
  - отсутствия необходимого потока охлаждающей жидкости
  - превышения температуры охлаждающей жидкости
  - превышения потребляемого тока;
- системой быстрого (1…3 с) разряда накопительной емкости блока питания лазерного излучателя до безопасного для человека напряжения при срабатывании блокировок или отключении установки от сети;
- системой защитного заземления;
- знаком лазерной опасности в соответствии с ГОСТ 12.4.026-76.

### 2. Лазерная безопасность.

### 2.1. Терминология

**Лазер** - генератор электромагнитного излучения, оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного излучения.

**Блокировка и сигнализация** - системы, информирующие о работе лазера (установки), режиме его работы и препятствующие доступу персонала в лазерно-опасную зону и к электрическим цепям высокого напряжения.

**Диффузно отраженное лазерное излучение** - излучение, отраженное от поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферы.

**Зеркально отраженное лазерное излучение** - излучение, отраженное от поверхности под углом равным углу падения.

**Коэффициент пропускания** - отношение потока излучения, прошедшего сквозь тело, к потоку излучения, упавшему на него.

**Лазерно-опасная зона (ЛОЗ)** - часть пространства, в пределах которого уровень лазерного облучения превышает ПДУ.

**Предельно допустимый уровень (ПДУ)** лазерного облучения - уровень облучения, который при ежедневной работе не вызывает у работающих заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, непосредственно во время работы или в отдаленные сроки.

**Противолазерные очки** - средство индивидуальной защиты (СИЗ) глаз от лазерного излучения.

**Юстировка лазера** - совокупность операций по регулировке оптических элементов лазерной установки для получения требуемых пространственно-энергетических характеристик лазерного излучения.

## 2.2. Общие сведения

Оборудование для лазерного нанесения имеет в своем составе источники повышенной опасности, такие как:

лазерное излучение (прямое, рассеянное, отраженное);

световое излучение от импульсных ламп накачки и зоны взаимодействия лазерного излучения с материалом изделия;

ультрафиолетовое излучение от ламп накачки и кварцевых газоразрядных трубок;

шум и вибрация, возникающие при работе установки;

ионизирующее излучение;

электромагнитные поля ВЧ и СВЧ диапазона;

высокое напряжение в электрических цепях питания ламп накачки, поджига и газового разряда;

опасные выделения вредных примесей в атмосферу в результате реакции горения некоторых веществ;

Для объяснения требований техники безопасности необходимо ввести основные понятия и определения, используемые при определении нормативов.

Все лазеры должны быть маркированы знаком лазерной опасности в соответствии с ГОСТ 12.4.026-76.

Источниками лазерной опасности являются основной лазерный излучатель ИАГ и полупроводниковый лазер (ПЛ). Излучение ПЛ малой мощности представляет опасность только в случае непосредственного попадания в глаза. Излучение ИАГ может представлять опасность не только для глаз, но и при попадании на кожу.

В связи с этим установка снабжена следующими элементами:

- комплектом средств индивидуальной защиты – специальные очки снабженными оптическими фильтрами, которые поглощают вредные для

человека излучения лазеров (основного $\lambda$ = 1.06 мкм и подсветки $\lambda$ = 0.63 мкм) и вторичное ультрафиолетовое излучение от возникающей вспышки плазмы при работе основного лазера;

- кнопкой аварийного выключения лазерной установки, расположенной на передней панели излучателя (красного цвета), что позволяет быстро выключить установку при аварии.

Рекомендуемая литература

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/Н. Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А Н. Кокора. – М.: Машиностроение, 1985.
2.

Учебное издание

Лазерная технологическая установка «БетаМарк 2000»

Составитель
ЛАПШИНОВ Борис Алексеевич

Редактор Е.С. Резникова
Технический редактор О.Г. Завьялова

http://www.miem.edu.ru/rio/
rio@miem.edu.ru

Подписано в печать . Формат 60x84/16
Бумага офсетная №2. Ризография. Усл.печ.л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,58
Изд. № 101. Тираж 25 экз. Заказ . Бесплатно
Московский государственный институт электроники и математики.
109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 3/12.
Отдел оперативной полиграфии Московского государственного
института электроники и математики.
113054, Москва, ул. М. Пионерская, 12.