

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
**«Владимирский государственный университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт прикладной математики и информатики, био- и нанотехнологий

Факультет прикладной математики и физики

Кафедра физики и прикладной математики

Учебно-методический комплекс ДИСЦИПЛИНЫ

«ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ»

Направление подготовки **200500.62 «Лазерная техника и лазерные
технологии»**

Программа (профиль) общий

Форма обучения - очная

Владимир 2013 г.

Учебно-методический комплекс дисциплины Введение в специальность составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВПО Российской Федерации протокол №4 от 20.12.2012 и учебного плана подготовки бакалавров по направлению 200500.62 «Лазерная техника и лазерные технологии»

по программе (профилю) подготовки – общий.

УМК дисциплины составила: ст. преподаватель каф. ФиПМ Кутровская С.В.

Согласовано:

Внешний рецензент _____

УМКД утвержден:

На 2013 учебный год. Протокол заседания кафедры №__ от _____ 2013г.

Заведующий кафедрой _____ Аракелян С.М.

УМКД переутвержден:

На _____ учебный год. Протокол заседания кафедры №__ от _____ 20__г.

Заведующий кафедрой _____ Аракелян С.М.

КАРТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ УЧЕБНОЙ И НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ

Кафедра физики и прикладной математики

Направление **200500.62 «Лазерная техника и лазерные технологии»**

Дисциплина **«Введение в специальность»**

№ п/п	Название и выходные данные (автор, вид издания, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке университета (в том числе имеющихся на кафедре)	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ	Количество студентов, использующих указанную литературу	Обеспеченность студентов литературой, %
1	2	3	4	5	6
1	Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. пособие: для ВУЗов.–М.: ФИЗМАЛИТ, 2010.-846с.			22	
2	Трофимова Т.И. Курс физики для ВУЗов: - М.Выш.шк.,2010. – 478с.			22	
3	Четырнадцать лекций о лазерах/ Л. В. Тарасов – Издательство: Либроком, 2011.-176с			22	
4	Принципы лазеров. Учебное пособие./ О. Звелто - Издательство: Лань, 2008. – 592с			22	
5	Физика лазера / Л. В. Тарасов - Издательство: Либроком, 2011. – 456 с.			22	
6	Лазеры. Лазерные системы / Г. И. Долгих, В. Е. Привалов – Издательство: Дальнаука, 2009. - 204 с.			22	
7	Лазеры. Исполнение,			22	

	управление, применение. / Ю. Айхлер, Г. И. Айхлер - Издательство: Техносфера, 2011. – 496 с.				
8	История лазера /М. Бертолотти. - Издательство: Интеллект, 2011. – 344с.			22	
9	Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях/ В.В. Тучин - Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 500с.			22	
	ИТОГО:			22	

Общий процент обеспеченности дисциплины учебной и научной литературой – _____%

Зав. кафедрой _____ / _Аракелян С.М. /

«_____» _____ 2013г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых»**
(ВлГУ)

Институт прикладной математики и информатики, био- и нанотехнологий
Факультет прикладной математики и физики
Кафедра физики и прикладной математики

Кутровская С.В.

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

Курс лекций

по дисциплине «Введение в специальность» для студентов ВлГУ,
обучающихся по направлению 200500.62 «Лазерная техника и лазерные технологии»

Владимир – 2013г.

Введение

Лазерная техника и лазерные технологии получают все большее распространение в связи с особыми, а зачастую уникальными свойствами лазерного излучения. Технологические процессы, медицинские применения, многие бытовые приборы, лазерная связь, космическая локация и военные цели – вот неполный список направлений, где лазеры являются востребованными и наиболее быстро развивающимися инструментами современных технологий.

Программа предназначена для подготовки бакалавров по направлению 200500.62 «Лазерная техника и лазерные технологии». Курс "Введение в специальность" читается во 2 семестре и направлен на общее ознакомление студентов с принципами работы «лазера» как прибора, классификацией лазерных систем, уникальными особенностями лазерного излучения, а также приобретению навыков работы с лазерными установками и общее расширение компетенции студентов в области лазерной техники и лазерных технологий.

Содержание учебного курса полностью соответствует требованиям Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования;

Цель курса – ознакомить студентов с основными принципами работы лазеров и применениями лазерных систем в зависимости от параметров генерируемого ими излучения.

Задачи учебного курса:

- получение представлений о генерации лазерного излучения, истории создания лазерной техники, современном состоянии и перспективах развития лазеров;
- ознакомление со свойствами лазерного излучения, режимами работы и классификацией лазерных систем;
- формирование понятий о современных направлениях использования и изучение техники безопасности при работе с лазерами;
- приобретение навыков работы с источниками лазерного излучения.

Изучение дисциплины предполагает наличие у студентов базовых знаний в области курса общей физики и математического анализа.

Базовые знания в области лазерной техники и лазерных технологий, полученные в рамках данной дисциплины, должны пробудить интерес к осваиваемой профессии и будут уточнены на старших курсах при изучении профессиональных дисциплин «Лазерные измерения», «Волоконно-оптические системы», «Взаимодействие лазерного излучения с

веществом», «Лазерная техника», «Лазерные технологии», «Математическое моделирование нелинейных волновых процессов», «Лазеры в медицине» и др.

Знания, полученные в рамках изучения данной дисциплины, могут быть применены для написания выпускной квалификационной работы.

Текст лекций, методические рекомендации к практическим, лабораторным и самостоятельным работам изложен на русском языке с представлением графического материала.

Самостоятельная работа студентов в рамках изучения курса в объеме 36 часов включает более подробную проработку материала лекций, а также написание рефератов по индивидуальным темам.

ЛЕКЦИЯ 1.

Основные элементы лазера и их роль.

Параметры и характеристики лазерного излучения. Режимы работы лазеров. (4ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

1. LASER.

1.1. Принцип работы лазеров.

1.2. Основные элементы лазерных систем и их роль.

2. Режимы работы лазеров.

2.1. Непрерывный режим.

2.2. Импульсный режим.

1. Лазер (англ. *laser*, акроним от англ. *light amplification by stimulated emission of radiation* — усиление света посредством вынужденного излучения), **оптический квантовый генератор** — устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Физической основой работы лазера служит квантовомеханическое явление вынужденного (индуцированного) излучения. Излучение лазера может быть непрерывным, с постоянной мощностью, или импульсным, достигающим предельно больших пиковых мощностей. В некоторых схемах рабочий элемент лазера используется в качестве оптического усилителя для излучения от другого источника. Существует большое количество видов лазеров, использующих в качестве рабочей среды все агрегатные состояния вещества. Некоторые типы лазеров, например лазеры на растворах красителей или полихроматические твердотельные лазеры, могут генерировать целый набор частот (мод оптического резонатора) в широком спектральном диапазоне. Габариты лазеров разнятся от микроскопических для ряда полупроводниковых лазеров до размеров футбольного поля для некоторых лазеров на неодимовом стекле. Уникальные свойства излучения лазеров позволили использовать их в различных отраслях науки и техники, а также в быту, начиная с чтения и записи компакт-дисков и заканчивая исследованиями в области управляемого термоядерного синтеза.

1.1. Физической основой работы лазера служит явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом

происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.

Вероятность того, что случайный фотон вызовет индуцированное излучение возбуждённого атома, в точности равняется вероятности поглощения этого фотона атомом, находящимся в невозбуждённом состоянии. Поэтому для усиления света необходимо, чтобы возбуждённых атомов в среде было больше, чем невозбуждённых (так называемая инверсия населённостей). В состоянии термодинамического равновесия это условие не выполняется, поэтому используются различные системы накачки активной среды лазера (оптические, электрические, химические и др.).

Первоисточником генерации является процесс спонтанного излучения, поэтому для обеспечения преобладания поколений фотонов необходимо существование положительной обратной связи, за счёт которой излучённые фотоны вызывают последующие акты индуцированного излучения. Для этого активная среда лазера помещается в оптический резонатор. В простейшем случае он представляет собой два зеркала, одно из которых полупрозрачное — через него луч лазера частично выходит из резонатора. Отражаясь от зеркал, пучок излучения многократно проходит по резонатору, вызывая в нём индуцированные переходы. Излучение может быть как непрерывным, так и импульсным. При этом, используя различные приборы (вращающиеся призмы, ячейки Керра и др.) для быстрого выключения и включения обратной связи и уменьшения тем самым периода импульсов, возможно создать условия для генерации излучения очень большой мощности (так называемые гигантские импульсы). Этот режим работы лазера называют режимом модулированной добротности.

Генерируемое лазером излучение является монохроматическим (одной или дискретного набора длин волн), поскольку вероятность излучения фотона определённой длины волны больше, чем близко расположенной, связанной с уширением спектральной линии, а, соответственно, и вероятность индуцированных переходов на этой частоте тоже имеет максимум. Поэтому постепенно в процессе генерации фотоны данной длины волны будут доминировать над всеми остальными фотонами. Кроме этого, из-за особого расположения зеркал в лазерном луче сохраняются лишь те фотоны, которые распространяются в направлении, параллельном оптической оси резонатора на небольшом расстоянии от неё, остальные фотоны быстро покидают объём резонатора. Таким образом луч лазера имеет очень малый угол расходимости. Наконец, луч лазера имеет строго определённую поляризацию. Для этого в резонатор вводят различные поляризаторы, например, ими могут служить плоские

стеклянные пластинки, установленные под углом Брюстера к направлению распространения луча лазера.

1.2. Все лазеры состоят из трёх основных частей:

- активной (рабочей) среды;
- системы накачки (источник энергии);
- оптического резонатора (может отсутствовать, если лазер работает в режиме усилителя).

Каждая из них обеспечивает для работы лазера выполнение своих определённых функций.

В настоящее время в качестве рабочей среды лазера используются различные агрегатные состояния вещества: твёрдое, жидкое, газообразное, плазма. В обычном состоянии число атомов, находящихся на возбуждённых энергетических уровнях, определяется распределением Больцмана:

$$N = N_0 \exp(-E/kT),$$

здесь N — число атомов, находящихся в возбуждённом состоянии с энергией E , N_0 — число атомов, находящихся в основном состоянии, k — постоянная Больцмана, T — температура среды. Иными словами, таких атомов, находящихся в возбужденном состоянии меньше, чем в основном, поэтому вероятность того, что фотон, распространяясь по среде, вызовет вынужденное излучение также мала по сравнению с вероятностью его поглощения. Поэтому электромагнитная волна, проходя по веществу, расходует свою энергию на возбуждение атомов. Интенсивность излучения при этом падает по закону Бугера:

$$I_l = I_0 \exp(-a_1 l),$$

здесь I_0 — начальная интенсивность, I_l — интенсивность излучения, прошедшего расстояние l в веществе, a_1 — показатель поглощения вещества. Поскольку зависимость экспоненциальная, излучение очень быстро поглощается.

В том случае, когда число возбуждённых атомов больше, чем невозбуждённых (то есть в состоянии инверсии населённостей), ситуация прямо противоположна. Акты вынужденного излучения преобладают над поглощением, и излучение усиливается по закону:

$$I_l = I_0 \exp(a_2 l),$$

где a_2 — коэффициент квантового усиления. В реальных лазерах усиление происходит до тех пор, пока величина поступающей за счёт вынужденного излучения энергии не станет равной величине энергии, теряемой в резонаторе. Эти потери связаны с насыщением метастабильного

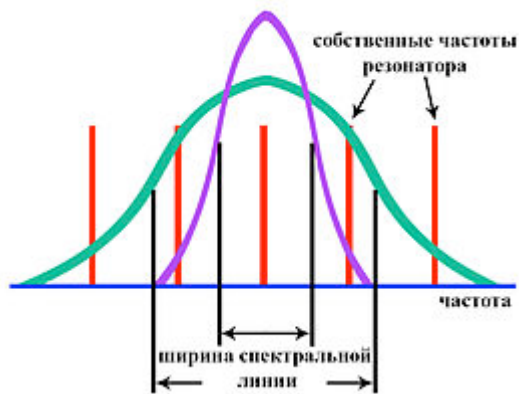
уровня рабочего вещества, после чего энергия накачки идёт только на его разогрев, а также с наличием множества других факторов (рассеяние на неоднородностях среды, поглощение примесями, неидеальность отражающих зеркал, полезное и нежелательное излучение в окружающую среду и пр.).

Для создания инверсной населённости среды лазера используются различные механизмы. В твердотельных лазерах она осуществляется за счёт облучения мощными газоразрядными лампами-вспышками, сфокусированным солнечным излучением (так называемая оптическая накачка) и излучением других лазеров (в частности, полупроводниковых). При этом возможна работа только в импульсном режиме, поскольку требуются очень большие плотности энергии накачки, вызывающие при длительном воздействии сильный разогрев и разрушение стержня рабочего вещества. В газовых и жидкостных лазерах используется накачка электрическим разрядом. Такие лазеры работают в непрерывном режиме. Накачка химических лазеров происходит посредством протекания в их активной среде химических реакций. При этом инверсия населённостей возникает либо непосредственно у продуктов реакции, либо у специально введённых примесей с подходящей структурой энергетических уровней. Накачка полупроводниковых лазеров происходит под действием сильного прямого тока через р-п переход, а также пучком электронов. Существуют и другие методы накачки (газодинамические, заключающиеся в резком охлаждении предварительно нагретых газов; фотодиссоциация, частный случай химической накачки и др.).

Классическая трёхуровневая система накачки рабочей среды используется, например, в рубиновом лазере. Рубин представляет собой кристалл корунда Al_2O_3 , легированный небольшим количеством ионов хрома Cr^{3+} , которые и являются источником лазерного излучения. Из-за влияния электрического поля кристаллической решётки корунда внешний энергетический уровень хрома E_2 расщеплён (см. эффект Штарка). Именно это делает возможным использование немонахроматического излучения в качестве накачки. При этом атом переходит из основного состояния с энергией E_0 в возбуждённое с энергией около E_2 . В этом состоянии атом может находиться сравнительно недолго (порядка 10^{-8} с), почти сразу происходит безызлучательный переход на уровень E_1 , на котором атом может находиться значительно дольше (до 10^{-3} с), это так называемый метастабильный уровень. Возникает возможность осуществления индуцированного излучения под воздействием других случайных фотонов. Как только атомов, находящихся в метастабильном состоянии становится больше, чем в основном, начинается процесс генерации.

Следует отметить, что создать инверсию населённости атомов хрома Cr с помощью накачки непосредственно с уровня E_0 на уровень E_1 нельзя. Это связано с тем, что если поглощение и вынужденное излучение происходят между двумя уровнями, то оба эти процесса протекают с одинаковой скоростью. Поэтому в данном случае накачка может лишь уравнивать населённости двух уровней, чего недостаточно для возникновения генерации.

В некоторых лазерах, например в неодимовом, генерация излучения в котором происходит на ионах неодима Nd^{3+} , используется четырёхуровневая схема накачки. Здесь между метастабильным E_2 и основным уровнем E_0 имеется промежуточный — рабочий уровень E_1 . Вынужденное излучение происходит при переходе атома между уровнями E_2 и E_1 . Преимущество этой схемы заключается в том, что в данном случае легко выполнить условие инверсной населенности, так как время жизни верхнего рабочего уровня (E_2) на несколько порядков больше времени жизни нижнего уровня (E_1). Это значительно снижает требования к источнику накачки. Кроме того, подобная схема позволяет создавать мощные лазеры, работающие в непрерывном режиме, что очень важно для некоторых применений. Однако подобные лазеры обладают существенным недостатком в виде низкого квантового КПД, которое определяется как отношение энергии излученного фотона к энергии поглощенного фотона накачки ($\eta_{\text{квантовое}} = h\nu_{\text{излучения}}/h\nu_{\text{накачки}}$)



В ширину спектральной линии, изображённой на рисунке зелёным цветом, укладывается три собственных частоты резонатора. В этом случае генерируемое лазером излучение будет трехмодовым. Для фиолетовой линии излучение будет чисто монохроматическим.

Зеркала лазера не только обеспечивают существование положительной обратной связи, но и работают как резонатор, поддерживая одни генерируемые лазером моды, соответствующие стоячим волнам данного резонатора, и подавляя другие. Если на оптической длине L резонатора укладывается целое число полувольт n :

$$2L = n\lambda,$$

то такие волны, проходя по резонатору не меняют своей фазы и вследствие интерференции усиливают друг друга. Все остальные, близко расположенные волны, постепенно гасят друг друга. Таким образом спектр собственных частот оптического резонатора определяется соотношением:

$$\nu_n = \frac{c}{2L}n,$$

здесь c — скорость света в вакууме. Интервалы между соседними частотами резонатора одинаковы и равны:

$$\Delta \nu_r = \frac{c}{2L}.$$

Линии в спектре излучения в силу различных причин (доплеровское уширение, внешние электрические и магнитное поля, квантовомеханические эффекты и др.) всегда имеют определённую ширину $\Delta \nu_l$. Поэтому могут возникать ситуации, когда на ширину спектральной линии укладывается несколько собственных частот резонатора. В этом случае излучение лазера будет многомодовым. Синхронизация этих мод позволяет добиться того, чтобы излучение представляло собой последовательность коротких и мощных импульсов. Если же $\Delta \nu_l < \Delta \nu_r$, то в излучении лазера будет присутствовать только одна частота, в данном случае резонансные свойства системы зеркал слабо выражены на фоне резонансных свойств спектральной линии.

При более строгом расчёте необходимо учитывать, что усиливаются волны, распространяющиеся не только параллельно оптической оси резонатора, но и под малым углом φ к ней. Условие усиления тогда принимает вид:

$$2L \cos \varphi = n\lambda.$$

Это приводит к тому, что интенсивность пучка лучей лазера различна в разных точках плоскости, перпендикулярной этому пучку. Здесь наблюдается система светлых пятен, разделённых тёмными узловыми линиями. Для устранения этих нежелательных эффектов используют различные диафрагмы, рассеивающие нити, а также применяют различные схемы оптических резонаторов.

2. Если в процессе работы лазера параметры резонатора (потери и связанная с ними добротность) остаются неизменными, лазер работает в так называемом "режиме свободных колебаний". Очевидно, что в этом случае при стационарной накачке лазер будет работать в непрерывном режиме, при импульсной накачке - в импульсном.

2.1. В непрерывном режиме Лазер генерирует при пороговой инверсии населенности. Выходное излучение имеет вид неупорядоченных пичков длительностью порядка единиц

микросекунд. Часто интенсивность излучения между пичками также имеет ненулевую величину. Достоинством непрерывного режима является то, что в этом режиме наиболее полно реализуются такие свойства лазеров, как монохроматичность, когерентность, направленность и низкий уровень шумов излучения. Непрерывные лазеры имеют широчайший диапазон применения. Можно выделить датчики контроля технологических процессов, связь, лазерную технологию, в частности резку и сварку с большими глубинами проплавления.

2.2. В импульсном режиме накачка носит импульсный характер (длительность импульса накачки может варьироваться от десятков микросекунд до сотен миллисекунд), лазер генерирует вблизи порога, а генерация представляет собой гребенку достаточно нерегулярных по амплитуде и частоте следования пиков, появляющихся в результате конкуренции роста инверсии за счет накачки и уменьшения ее за счет высвечивания фотонов. Характерная длительность пика в гребенке - единицы микросекунд, интервал между пичками - десятки микросекунд, количество пичков в гребенке - 10 - 1000). Этот режим в основном применяется в технологии толстолистовых материалов, сварке, резке с большими глубинами проплавления. Отдельно следует выделить режимы генерации повторяющихся импульсов:

Импульсно-периодический (ИП), подразумевающий генерацию импульсов в режимах свободной генерации либо модуляции добротности с частотами повторения 5 - 100000Hz

Квазинепрерывный режим. В этом режиме частота повторения достигает десятков GHz. Характерным отличием от ИП режима является то, что средняя мощность квазинепрерывной генерации сопоставима с пиковой мощностью составляющих импульсов. Он используется в локации, связи, различных технологических процессах.

Для ряда применений важно сократить длительность импульса, т.к. при заданной энергии импульса пиковая мощность Лазера возрастает с уменьшением его длительности. С этой целью разработан метод модулированной добротности (модулируется добротность резонатора), состоящий в следующем: предварительно производят оптическую накачку, искусственно препятствуя возникновению генерации. Это осуществляют, например, помещая внутри резонатора оптический затвор. При закрытом затворе генерация невозможна, и энергия накапливается в резонаторе в виде нарастающего количества возбуждённых атомов. Если затем быстро открыть затвор, то вся запасённая энергия возбуждения, или большая её часть высвечивается в виде короткого светового импульса. Длительность такого лазерного импульса определяется или скоростью открывания затвора или, если эта скорость достаточно велика, временем установления электромагнитного поля в резонаторе.

Режим модулированной добротности осуществляется следующим образом: по достижении максимальной инверсии добротность резонатора быстро увеличивается, потери уменьшаются и начинает развиваться генерация, проходя сперва линейный этап развития из спонтанного излучения, а затем быстрый нелинейный этап, за время которого запасенная в рабочем веществе энергия выплескивается в виде короткого (на практике до 3-10 нс) и мощного импульса. Типичные значения достигаемых мощностей соответствуют $10^7 - 10^8$ Вт, рекордные - $10^{13}-10^{15}$ Вт. Например, для рубинового лазера, дающего в режиме свободных колебаний $P = 10^3$ Вт, в режиме модулированной добротности $P = 10^8$ Вт, то есть возрастает на 5 порядков. В этом режиме применяются различные типы оптических затворов: механически вращающиеся зеркала и призмы, ячейки Керра и Поккельса, управляемые электрическим сигналом, и т.п. С помощью оптических затворов обычно получают импульсы длительностью от 10^{-7} до 10^{-8} сек. Полная энергия импульса в режиме модулированной добротности оказывается меньшей, нежели в режиме свободной генерации. Тем не менее, выигрыш в мощности за счёт уменьшения длительности импульса достигает нескольких порядков. Режим модуляции добротности нашёл множество применений: локация, лидары, научный эксперимент, лазерная технология тонколистовых материалов.

Еще более короткие световые импульсы удастся получить, используя метод синхронизации продольных мод. Как уже отмечалось, расстояние между продольными модами меньше ширины линии рабочего перехода в лазере, и возможна генерация лазера на нескольких продольных модах. В газах ширина линии составляет около 10^9 Гц, в твердотельных лазерах $10^{11}-10^{12}$ Гц, в лазерах на красителях $10^{13}-10^{14}$ Гц. В обычных условиях излучение разных мод не связано (не синхронизировано) друг с другом и отдельные моды выступают как независимые генераторы. С помощью введения в резонатор нелинейного элемента, каким является просветляющийся фильтр, можно синхронизировать моды лазера. Практически сфазировать все моды лазера довольно трудно. Чаще всего удаётся сфазировать лишь часть из них. При этом картина формирования сверхкоротких импульсов усложняется. Реальный процесс формирования сверхкоротких импульсов с помощью просветляющегося фильтра протекает примерно следующим образом: на начальной стадии развития генерации излучение представляет собой случайный процесс. Если просветляющая интенсивность соответствует горизонтальной прямой, то фильтр будет выключаться теми пучками, интенсивность которых больше просветляющей. После прохождения каждого из таких пучков фильтр снова начинает поглощать. Естественно, что генерация может развиваться таким образом лишь в случае достаточно малой инерционности фильтра. Иначе после каждого сильного пика фильтр

пропустит ещё несколько последующих более слабых пиков. Просветляющийся фильтр можно подобрать так, что он будет выключаться только самыми сильными всплесками интенсивности. Это позволяет, используя некоторые дополнительные устройства, выделять отдельные сверхкороткие импульсы генерации. Если жестко связать фазы отдельных мод, то есть заставить их генерировать синхронно, излучение лазера приобретает вид последовательности коротких импульсов, следующих друг за другом с периодом $T = 2L/c$. Мощность в импульсе при этом резко возрастает (в M раз) по сравнению с несинхронизированным режимом. В режиме синхронизации от лазеров удается получить сверхкороткие световые импульсы (10^{-12} - 10^{-13} с) высокой мощности. С помощью специальных методов длительность импульсов удается довести до 10^{-14} - 10^{-15} с. Лазеры, работающие в этом режиме, в основном используются в научных экспериментах, часто - в качестве задающих генераторов мощных лазерных систем.

ЛЕКЦИЯ 2.

Краткий исторический очерк. Классификация и типы лазеров. (2ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

1. История создания лазеров.
 - 1.1. Мазеры.
 - 1.2. Достижения Басова и Прохорова.
 - 1.3. Таунс и лазеры.
2. Классификация лазеров.
 - 2.1. Классификация по рабочей среде.
 - 2.2. Классификация по частоте излучения.
 - 2.3. Классификация по выходной мощности.

1. Фактически предпосылки к появлению лазеров появились еще в начале 20-ого столетия. Например, Альберт Эйнштейн в своих трудах предполагал, что вынужденное излучение существует, затем эта теория была обоснована квантовыми физиками в конце 1920-ых – начале 1930-ых годов на основании экспериментов Ладенбурга и Копферманна 1928-ого года. В 1950-ых годах произошел прорыв преобразовании энергии накачки, и в 1954 году появился мазер (прародитель лазера, микроволновой генератор), став основой для развития лазера. Первый лазер в лабораторных условиях был продемонстрирован в 1960-ом году.

1.1. Чарльз Хард Таунс и его аспиранты Джеймс П. Гордон и Герберт Дж. Зейджер произвели первый микроволновой усилитель, устройство, действующее по тем же принципам, что и лазер, но усиливающее микроволновую радиацию, а не инфракрасную радиацию или радиацию видимого спектра. Квантовый генератор Таунса был неспособен производить непрерывный свет. Тем временем, советские ученые Николай Басов и Александр Прохоров, также работающие над созданием квантового генератора, решили проблему системы непрерывного производства света при использовании больше, чем двух энергетических уровней. Эти уровни стали основой для выпуска стимулирующей эмиссии между возбужденными состояниями, облегчая инверсию.

В 1955 году команда советских ученых предложила осуществлять оптическую перекачку многоуровневой системы как способ для получения инверсии, а позже он стал главным способом лазерной перекачки. В то же время на другом конце планеты Таунс работал над этой проблематикой. Как следствие, в 1964 году все ученые, работавшие над созданием квантового генератора и мазера, получили Нобелевскую премию по физике «за фундаментальный вклад в

области квантовой электроники, которая привела к созданию генераторов и усилителей, основанных на лазерном квантовом генераторе».

Мазер или квантовый генератор представляет собой устройство, которое производит последовательные электромагнитные волны посредством увеличения стимулируемой эмиссией. Мазер, появившийся в 1957 году, стал прототипом лазера. Работа мазера основана на принципе стимулируемой эмиссии, предложенного Альбертом Эйнштейном еще в 1917 году. Когда атомы помещены в возбужденную энергетическую среду, они могут усилить радиацию в надлежащей частоте. Помещая такую среду усиления в резонансную впадину, создается обратная связь, которая и производит последовательную радиацию. Существует несколько типов мазеров, среди которых стоит выделить атомные мазеры, аммиачные мазеры, водородный и другие газовые мазеры.

1.2. Работы Басова посвящены квантовой электронике и ее применениям. Вместе с А.М. Прохоровым он установил принцип усиления и генерации электромагнитного излучения квантовыми системами, что позволило в 1954 создать первый квантовый генератор (мазер) на пучке молекул аммиака. В следующем году была предложена трехуровневая схема создания инверсной населенности уровней, нашедшая широкое применение в мазерах и лазерах. Эти работы (а также исследования американского физика Ч. Таунса) легли в основу нового направления в физике — квантовой электроники. За фундаментальную работу в области квантовой электроники, которая привела к созданию лазера и мазера, Басов и А.М. Прохоров были награждены Ленинской премией в 1959, а в 1964 совместно с Ч. Х. Таунсом — Нобелевской премией по физике.

Совместно с Ю.М. Поповым и Б.М. Вулом Басов предложил идею создания различных типов полупроводниковых лазеров: в 1962 был создан первый инжекционный лазер, затем лазеры, возбуждаемые электронным пучком, а в 1964 — полупроводниковые лазеры с оптической накачкой. Басов также провел исследования по мощным газовым и химическим лазерам, были созданы фторводородный и йодный лазеры, а затем эксимерный лазер.

Ряд работ Басова посвящен вопросам распространения и взаимодействия мощных лазерных импульсов с веществом. Ему принадлежит идея использования лазеров для управления термоядерным синтезом (1961), предложил методы лазерного нагрева плазмы, проанализировал процессы стимулирования химических реакций лазерным излучением.

Басов разработал физические основы создания квантовых стандартов частоты, выдвинул идеи новых применений лазеров в оптоэлектронике (такие как создание оптических логических элементов), выступал инициатором многих исследований по нелинейной оптике.

Научные работы Прохорова посвящены радиофизике, физике ускорителей, радиоспектроскопии, квантовой электронике и её приложениям, нелинейной оптике. В первых работах он исследовал распространение радиоволн вдоль земной поверхности и в ионосфере. После войны он деятельно занялся разработкой методов стабилизации частоты радиогенераторов, что легло в основу его кандидатской диссертации. Он предложил новый режим генерации миллиметровых волн в синхротроне, установил их когерентный характер и по результатам этой работы защитил докторскую диссертацию (1951).

Разрабатывая квантовые стандарты частоты, Прохоров совместно с Н. Г. Басовым сформулировал основные принципы квантового усиления и генерации (1953), что было реализовано при создании первого квантового генератора (мазера) на аммиаке (1954). В 1955 они предложили трёхуровневую схему создания инверсной населенности уровней, нашедшую широкое применение в мазерах и лазерах. Несколько следующих лет были посвящены работе над парамагнитными усилителями СВЧ-диапазона, в которых было предложено использовать ряд активных кристаллов, таких как рубин, подробное исследование свойств которого оказалось чрезвычайно полезным при создании рубинового лазера. В 1958 Прохоров предложил использовать открытый резонатор при создании квантовых генераторов. За основополагающую работу в области квантовой электроники, которая привела к созданию лазера и мазера, Прохоров и Н. Г. Басов были награждены Ленинской премией в 1959, а в 1964 совместно с Ч. Х. Таунсом — Нобелевской премией по физике.

С 1960 года Прохоров создал ряд лазеров различных типов: лазер на основе двухквантовых переходов (1963), ряд непрерывных лазеров и лазеров в ИК-области, мощный газодинамический лазер (1966). Он исследовал нелинейные эффекты, возникающие при распространении лазерного излучения в веществе: многофокусная структура волновых пучков в нелинейной среде, распространение оптических солитонов в световодах, возбуждение и диссоциация молекул под действием ИК-излучения, лазерная генерация ультразвука, управление свойствами твёрдого тела и лазерной плазмы при воздействии световыми пучками. Эти разработки нашли применение не только для промышленного производства лазеров, но и для создания систем дальней космической связи, лазерного термоядерного синтеза, волоконно-оптических линий связи и многих других.

1.3. Доскональное исследование инфракрасного лазера было начато Чарльзом Таунсом и Артуром Шавлоу и Лабораториями Белла в 1957 году. Поскольку в этот период активной исследовательской деятельности идеи развивались достаточно быстро, Таунс и Шавлоу быстро оставили исследование инфракрасной радиации, вместо этого сконцентрировав свою работу на

исследования света в видимом спектре. Изначально лазер назвали оптическим квантовым генератором, и в 1958 году именно под этим названием Лаборатория Белла подала заявку на патент. В этот же период Таунс и Шавлоу напечатали статью со своими исследованиями в научных журналах, а в Колумбийском университете, аспирант Гордон Гульд работал над своей докторской диссертацией, посвященной энергетическим уровням возбужденного таллия. Когда Гульд и Таунс встретились, они обсудили вопросы радиационной эмиссии, и впоследствии осенью 1957 года Гульд обозначил свои идеи как «лазер», и именно он первым включал в это понятие использование открытого резонатора, который позже стал важной составляющей устройства лазера. На научной конференции в 1959 году Гульд впервые официально использовал термин Лазер, используя его, чтобы обозначить спектр света, излучаемого лазерным устройством. Гульд подал заявку на патент на лазер в апреле 1959 года, но бюро отклонило его заявку и отдало патент Лаборатории Белла в 1960 году. Несмотря на то, что Гульд подал иск в суд, он судился в течение долгого времени относительно своего изобретения и первый свой патент получил только в конце 1970-ых годов. Однако этот суд показал насколько быстро и обширно развивается наука, и какие средства требуются для научного развития и новых изобретений. В конечном счете, спустя почти два десятилетия Гульд получил патент на устройство оптической накачки и газовый лазер через решение федерального судью США. Первый функционирующий лазер был запущен 16-ого мая 1960 года в исследовательских лабораториях Хьюза, в Калифорнии. Этот лазер работал на твердом теле активной среды лазера, на синтетическом кристалле рубина.

2. Волна – возмущение (изменение состояния среды или поля), распространяющееся в пространстве с конечной скоростью.

Длина волны - расстояние, на которое распространяется волна за период, равное расстоянию между двумя ближайшими точками среды, колеблющимися в одной фазе. Длина волны электромагнитного излучения оптического диапазона измеряется в нанометрах (нм) или микрометрах (мкм) ($1\text{ мкм}=1000\text{ нм}$).

Частота колебаний (импульсов) – физическая величина, равная числу колебаний (импульсов), совершаемых за единицу времени. Единица измерения в СИ – герц (Гц). 1 Гц – эта частота, при которой 1 колебание совершается за одну секунду.

Мощность излучения - средняя мощность, переносимая через какую-либо поверхность. Единица измерения в СИ - Ватт (Вт). Плотность мощности - отношение потока излучения к площади поверхности, перпендикулярной к направлению распространения. Единица измерения в СИ - $\text{Вт}/\text{см}^2$.

Доза облучения - энергетическая облученность за определенный промежуток времени. Единица измерения в СИ - Дж/м². 1Дж – энергия, полученная при воздействии излучением мощностью в 1 Вт за 1 с. 1Дж=1Вт/1с.

2.1. По типу активного вещества лазеры делятся на :

Твердотельные

- волоконный (лазер, активная среда и резонатор являются элементами оптического волокна.)

- полупроводниковый (ближний УФ, фиолетовый, синий — полупроводниковые нитриды Ga, Al; красный, ближний ИК-диапазон - соединения на основе Al, Ga, As; ближний и средний ИК-диапазон - соединения, содержащие In, P, Sb; средний ИК — дальний ИК-диапазон - соли свинца; средний ИК — терагерцовый диапазон - полупроводниковые квантово-каскадные лазеры)

- лазеры на стеклах и кристаллах, допированных редкоземельными металлами (например: Nd:Glass, Nd:YAG, TiSp и др.)

Газовые

-ионные (излучение получается за счет переходов электронов между энергетическими уровнями ионов , пример :Ar⁺, Kr⁺)

- атомарные (генерируют за счет переходов электронов между энергетическими уровнями атомов, пример :He-Ne, пары Me)

-молекулярные (излучение возникает от переходов электронов между энергетическими уровнями молекул, пример: CO₂, N₂, а также химические лазеры на фторе, хлоре, водороде, хлористом водороде и др)

- Экимерные (193 нм (ArF), 248 нм (KrF), 308 нм (XeCl), 353 нм (XeF))

Жидкостные (растворы органических красителей или специальные жидкости, активированные ионами редкоземельных элементов. Известны несколько сотен различных органических красителей, пригодных для лазерной генерации. Они позволяют получать излучение с длиной волны от 0,3 до 1,3 мкм, т. е. от ультрафиолетового до инфракрасного. Для жидкостных лазеров применяют непрерывную или импульсную оптическую накачку от вспомогательного лазера или от газоразрядной лампы)

2.2. Одной из важнейших характеристик является длина волны (измеряется в нанометрах или микрометрах). В зависимости от длины волны может принадлежать к различным участкам спектра: ультрафиолетовому, видимому (чаще красному) и инфракрасному:

Ультрафиолетовый диапазон от 180 до 400 нм;

Видимый спектр:

фиолетовый 400-450 нм;

синий 450-480 нм;

голубой 480-510 нм;

зелёный 510-575 нм;

жёлтый 575-585 нм;

оранжевый 585-620 нм;

красный 620-760 нм;

Инфракрасный диапазон:

Ближняя область 760 нм -15 мкм;

Дальняя область 15-30 мкм.

В зависимости от того, какую длину волны излучает квантовый генератор, он может называться по-разному:

лазер – генератор, излучающий когерентные электромагнитные волны видимого диапазона .

мазер – генератор, излучающий когерентные электромагнитные волны сантиметрового диапазона (микроволны).

рентген-лазер – устройства, способные генерировать когерентное рентгеновское излучение.

По сравнению с оптическим диапазоном лазерная генерация в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах обладает следующими сложностями:

- С уменьшением длины волны сильно падает эффективность лазерного усиления;
- В рентгеновском диапазоне отсутствуют хорошие зеркала, что делает затруднительным создание резонаторов;
- Для генерации в рентгеновском диапазоне нужны значительно большие мощности накачки.

В рентгеновских лазерах в узком смысле в качестве активной среды обычно используется горячая плазма. Именно для таких лазеров достигнуты наибольшие успехи. Наименьшая длина волны, для которой продемонстрирован лазерный эффект составляет 3,56 нм.

газер - квантовый генератор когерентного гамма-излучения. Пока генерация вынужденного излучения в гамма-диапазоне не осуществлена.

2.3. В зависимости от выходной мощности лазеры подразделяются на:

- низкоэнергетические (плотность мощности излучения менее 0.4 Вт/см^2);
- среднеэнергетические (плотность мощности излучения $0.4\text{-}10^6 \text{ Вт/см}^2$);
- высокоэнергетические (плотность мощности излучения более 10^7 Вт/см^2).

ЛЕКЦИЯ 3.

Свойства лазерного излучения. (2ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

1. Свойства лазерного излучения.

1.1. Монохроматичность.

1.2. Когерентность.

1.3. Направленность.

1.4. Яркость.

1.5. Поляризованность.

2. Преимущества лазера как источника излучения, вытекающие из его свойств излучения.

1. Свойства лазерного излучения

Главные достоинства лазеров состоят в их высокой степени когерентности, монохроматичности, направленности и яркости.

1.1. Монохроматические волны — неограниченные в пространстве волны одной определенной и строго постоянной частоты. Так как ни один реальный источник не дает строго монохроматического света, то волны, излучаемые любыми независимыми источниками света, всегда некогерентны. Поэтому на опыте не наблюдается интерференция света от независимых источников, например от двух электрических лампочек.

Лазеры являются непревзойденными источниками монохроматического излучения в силу того, что усиливаться в активной среде может волна только с определенной частотой. а генерация может возникать только на резонансных частотах резонатора. В обычных источниках излучательная мощность распределена в широком диапазоне, а в лазерах вся излучательная мощность сосредоточена в одной или нескольких узких спектральных линиях, что дает колоссальную спектральную интенсивность/ плотность энергии.

$\mu = \Delta\lambda/\lambda_0$ – степень монохроматичности

1.2. Когерентность (coherency – связь, согласованность) – это согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов.

Понять некогерентности волн, испускаемых двумя независимыми источниками света, можно исходя из самого механизма испускания света атомами. В двух самостоятельных источниках света атомы излучают независимо друг от друга. В каждом из таких атомов процесс излучения конечен и длится очень короткое время ($\tau \approx 10^{-8}$ с). За это время возбужденный атом

возвращается в пор мальное состояние и излучение им света прекращается. Возбуждвшись вновь, атом снова начинает испускать световые волны, но уже с новой начальной фазой. Так как разность фаз между излучением двух таких независимых атомов изменяется при каждом новом акте испускания, то волны, спонтанно излучаемые атомами любого источника света некогерентны. Таким образом, волны, испускаемые атомами, лишь в течение интервала времени $\approx 10^{-8}$ с имеют приблизительно постоянные амплитуду и фазу колебаний, тогда как за больший промежуток времени и амплитуда, и фаза изменяются. Прерывистое излучение света атомами в виде отдельных коротких импульсов называется волновым цугом.

Описанная модель испускания света справедлива и для любого макроскопического источника, так как атомы светящегося тела излучают свет также независимо друг от друга. Это означает, что начальные фазы соответствующих им волновых цугов не связаны между собой. Помимо этого, даже для одного и того же атома начальные фазы разных цугов отличаются для двух последующих актов излучения. Следовательно, свет, испускаемый макроскопическим источником, некогерентен.

Любой немонахроматический свет можно представить в виде совокупности сменяющихся друг друга независимых гармонических цугов. Средняя продолжительность одного цуга тког называется временем когерентности. Когерентность существует только в пределах одного цуга, и время когерентности не может превышать время излучения, т.е. $\tau_{\text{ког}} < \tau$. Прибор обнаружит четкую интерференционную картину лишь тогда, когда время разрешения прибора значительно меньше времени когерентности накладываемых световых волн.

Если волна распространяется в однородной среде, то фаза колебаний в определенной точке пространства сохраняется только в течение времени когерентности $\tau_{\text{ког}}$. За это время волна распространяется в вакууме на расстояние $l_{\text{ког}} = c \tau_{\text{ког}}$, называемое длиной когерентности (или длиной цуга). Таким образом, длина когерентности есть расстояние, при прохождении которого две или несколько волн утрачивают когерентность. Отсюда следует, что наблюдение интерференции света возможно лишь при оптических разностях хода, меньших длины когерентности для используемого источника света.

Чем ближе волна к монохроматической, тем меньше ширина $\Delta\omega$ спектра ее частот и, как можно показать, больше ее время когерентности $\tau_{\text{ког}}$, а следовательно, и длина когерентности $l_{\text{ког}}$. Когерентность колебаний, которые совершаются в одной и той же точке пространства, определяемая степенью монохроматичности волн, называется временной когерентностью.

Наряду с временной когерентностью, для описания когерентных свойств волн в плоскости, перпендикулярной направлению их распространения, вводится понятие

пространственной когерентности. Два источника, размеры и взаимное расположение которых позволяют (при необходимой степени монохроматичности света) наблюдать интерференцию, называются пространственно-когерентными. Радиусом когерентности (или длиной пространственной когерентности) называется максимальное поперечное направлению распространения волны расстояние, на котором возможно проявление интерференции. Таким образом, пространственная когерентность определяется радиусом когерентности.

Радиус когерентности:

$$r_{\text{ког}} \sim \lambda/\varphi;$$

где λ - длина световых волн, φ — угловой размер источника. Так, минимально возможный радиус когерентности для солнечных лучей (при угловом размере Солнца на Земле $\varphi \approx 10^{-2}$ рад и $\lambda \approx 0,5$ мкм) составляет $\approx 0,05$ мм. При таком малом радиусе когерентности невозможно непосредственно наблюдать интерференцию солнечных лучей, поскольку разрешающая способность человеческого глаза на расстоянии наилучшего зрения составляет лишь 0,1 мм. Отметим, что первое наблюдение интерференции провел в 1802 г. Т. Юнг именно с солнечным светом, для чего он предварительно пропускал солнечные лучи через очень малое отверстие в непрозрачном экране (при этом на несколько порядков уменьшался угловой размер источника света и тем самым резко увеличивался радиус когерентности (или длина пространственной когерентности)).

Лазерные источники обладают высокой степенью пространственной и временной когерентности. Временная когерентность зависит от конструкции прибора и влияния внешних факторов и используется:

- для передачи информации на оптических частотах;
- в измерениях, связанных с интерференцией волн (определение расстояния, скорости, линейных и угловых размеров, обнаружения малые перемещения, дефекты и тп);
- для осуществления гетеродинирования при приеме когерентных сигналов;
- в стандартах частоты и времени.

Пространственная когерентность является причиной высокой направленности лазерных пучков и возможности фокусировки в пятно чрезвычайно малого размера.

1.3. Направленность.

Пространственная когерентность означает, что излучение может распространяться в виде почти плоской волны, расходимость которой не очень отличается от \min расходимости, связанной с дифракцией световой волны: $\theta = \beta\lambda/D$, где β – коэф, λ – длина волны. Для лазерного

пучка с $D = 10\text{ мм}$, $\lambda = 0,7\text{ мкм}$, расходимость $\theta \sim 20''$. Чтобы получить такую же расходимость от обычного объектива, $f = D/2\theta = 50\text{ м}$.

1.4. Яркость.

Пространственно-когерентную волну даже на очень большом расстоянии можно с помощью оптической системы сфокусировать в площадку размером близким к λ . Эта способность является важнейшим из свойств лазерных лучей. А как следствие, яркость лазера небольшой мощности на несколько порядков превышает яркость обычных источников излучения.

Оценочно яркость луча He-Ne лазера при $P = 10\text{ мВт}$, $\theta = 3 \cdot 10^4$ радиан составляет $V = 10^6\text{ Вт/см}^2\text{стер}$. Яркость солнца $V = 130\text{ Вт/см}^2\text{стер}$. Таким образом, лазер ярче солнца в 1000 раз.

1.5. Поляризованность.

Поляризация волн — характеристика поперечных волн, описывающая поведение векторов E и H в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. В продольной волне поляризация возникнуть не может, так как направление колебаний в этом типе волн всегда совпадают с направлением распространения.

Поперечная волна характеризуется двумя направлениями: волновым вектором и вектором амплитуды, всегда перпендикулярным к волновому вектору. Так что в трёхмерном пространстве имеется ещё одна степень свободы — вращение вокруг волнового вектора.

Причиной возникновения поляризации волн может быть:

- несимметричная генерация волн в источнике возмущения;
- анизотропность среды распространения волн;
- преломление и отражение на границе двух сред.

Основными являются два вида поляризации:

- линейная — колебания возмущения происходят в какой-то одной плоскости. В таком случае говорят о «плоско-поляризованной волне»;
- круговая — конец вектора амплитуды описывает окружность в плоскости колебаний. В зависимости от направления вращения вектора может быть правой или левой.

2. Высокая направленность определяет следующие преимущества лазеров перед обычными источниками излучения:

- чрезвычайно малые потери энергии, связанные с увеличением расстояния и расходимостью пучка;

- высокое угловое разрешение дает возможность точно направить излучение на мелкоразмерные цели и значительно уменьшить помехи, создаваемые посторонними предметами;
- возможность пространственной фильтрации при приеме сигнал, а как следствие, узконаправленное излучение может быть эффективно использовано: для передачи энергии на большие расстояния, для оптической локации удаленных объектов активным методом, селекции объектов среди других целей, для измерения углов и скоростей, а также в системах наведения по лазерному лучу.

ЛЕКЦИЯ 4.

Лазеры в медицине: диагностика, терапия, хирургия. (2ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

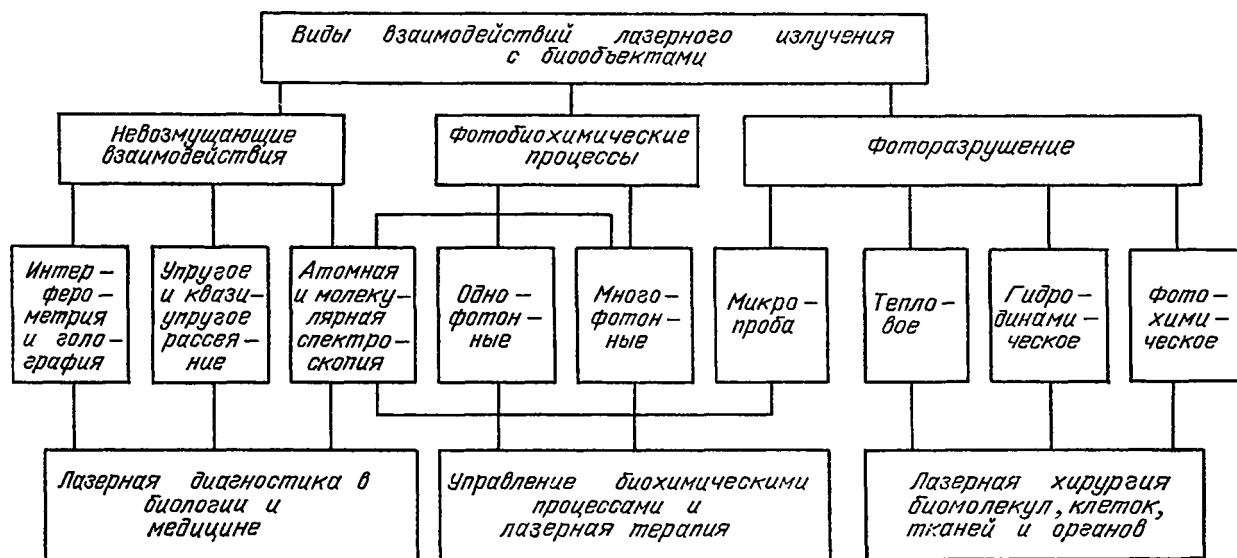
1. Связь проникающей способности излучения и длины волны лазера.
2. Лазерная диагностика. ЛАКК.
3. Терапевтические лазеры.
4. Лазеры в хирургии.

1. Применение лазеров в биологии и медицине основано на использовании широкого круга явлений, связанных с разнообразными проявлениями взаимодействия света с биологическими объектами. Лазерное излучение, так же как и обычный свет, может отражаться, поглощаться, рассеиваться, переизлучаться биологической средой, и каждый из этих процессов несет информацию о микро- и макроструктуре этой среды, движении и форме отдельных ее составляющих. Видимый и УФ свет могут оказывать фотобиохимическое действие. Яркими примерами этого являются фотосинтез растений и бактерий, а также механизм зрения. Высокоинтенсивное световое излучение УФ, видимого и ИК диапазонов длин волн оказывает разрушающее (деструктивное) действие на биологические объекты. Необходимые интенсивности можно создать и не только с помощью лазеров. Существуют, например, фотокоагуляторы тканей глаза на основе мощных ксеноновых ламп.

Таким образом, процессы, характеризующие **виды взаимодействий** лазерного излучения с биообъектами, можно разделить на три группы. К первой относятся все **невозмущающие** взаимодействия (по крайней мере, в пределах погрешностей измерений не оказывающие заметного действия на биообъект), ко второй — процессы, в которых проявляется **фотохимическое** действие, и к третьей — процессы, приводящие к **фоторазрушению**. На схеме 1 представлена классификация основных принципов применения лазеров в биологии и медицине, учитывающая указанные группы процессов.

Поскольку мы имеем дело с живыми объектами, то помимо физико-химических проявлений действия лазерного излучения необходимо учитывать его влияние и на функционирование живой материи. Это влияние определяется степенью гомеостаза живого объекта. Степень гомеостаза характеризует состояния и процессы, обеспечивающие устойчивость организма к внешним возмущениям, она является функцией эволюционного развития и оказывается наименьшей у биологических молекул и наивысшей у позвоночных

животных. Свет малой интенсивности не запускает адаптационные механизмы биосистемы. По мере роста интенсивности сначала затрагивается гомеостаз живой системы на локальном уровне, затем включаются общие адаптационные и регуляционные механизмы системы, полностью ее восстанавливающие, далее они уже не справляются с полным восстановлением и частично происходят необратимые процессы, которые нарастают и приводят к разрушениям в системе. Однако объект можно еще считать «живым». При высоких интенсивностях разрушения оказываются настолько значительными, что объект уже не может считаться «живым». С точки зрения применения физических методов исследования наибольший интерес представляют области очень малых и очень больших интенсивностей. В первой из них возможно применение ряда наиболее чувствительных физических методов исследования, не требующих сильных световых потоков и, следовательно, не вносящих искажений в результаты измерений за счет гомеостаза живой материи даже на локальном уровне. Вторая область интересна тем, что результаты измерений также оказываются неискаженными за счет регуляторных механизмов биосистемы, поскольку она уже «неживая».



1. Классификация основных принципов применения лазеров в биологии и медицине

Однако исследователь в этом случае имеет дело лишь с органической материей, состав и свойства которой соответствуют моменту прекращения жизнедеятельности. Для взаимодействия света с биологическими объектами оказывается важной и длительность облучения. В этом также может проявить себя гомеостазная природа живой материи. В зависимости от длины волны и интенсивности света пороговая длительность облучения, при которой начинают происходить морфологические изменения, может быть весьма различной для

одного и того же объекта. При этом в зависимости от периодичности световых импульсов возможны резонансные явления, поскольку известно, что период колебаний фотоотклика биологических систем изменяется в пределах от 10^{-8} до 10^8 с.

Поглощение света является одной из характеристик эффективности взаимодействия света с исследуемым биологическим объектом. Спектры поглощения биообъектов определяются типом доминирующих поглощающих центров, так называемых хромофоров, и содержащейся в них

водой.

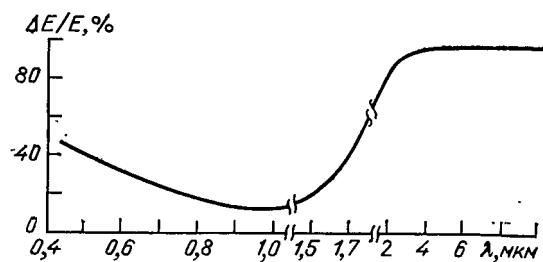


Рис. 1.1. Зависимость доли световой энергии $\Delta E/E$, поглощенной кровенаполненной биотканью толщиной 1 мм, от длины волны [2]

У белков хромофорами являются различные остатки аминокислот, которые поглощают в УФ области ($\lambda=200—300$ нм), нуклеиновые кислоты также поглощают в этой области. Поглощение видимого излучения обусловлено такими биомолекулами, как гемоглобин, хлорофилл, флавины, каротиноиды, фикобилины и фитохром. В качестве примера на рис. 1.1 показан спектр поглощения типичной кровенаполненной биологической ткани толщиной 1 мм. Свет с длинами волн $\lambda=0,6—1,5$ мкм относительно слабо поглощается и довольно глубоко проникает в биоткань. Например, излучение с $\lambda= 1,06$ мкм проникает на глубину в 1 см. Однако в спектральном диапазоне 2—12 мкм из-за поглощения воды, содержащейся в биоткани, свет слабо проникает в глубь ткани. В области длин волн 4—6 мкм глубина проникновения порядка 100— 150 мкм, а в области 7—12 мкм сравнима с длиной волны света. На $\lambda=0,45—0,50$ мкм поглощение определяется гемоглобином крови, а в УФ диапазоне многие биоткани сильно поглощают за счет содержащихся в них белков.

Таблица 1.1

Коэффициенты поглощения α некоторых биотканей на отдельных длинах волн

Биоткань	λ , нм	α , см ⁻¹	Биоткань	λ , нм	α , см ⁻¹
Кровь, насыщенная кислородом	620	6,2	Эпителий	633	821
	805	6,2		1060	120
Кровь, не насыщенная кислородом	620	18,2	Ткань артериальной стенки (в норме)	193	10 ⁴
	805	6,2		248	10 ³
Белый эпидермис	400	2,8		308	180 ± 16
	500	1,2		351	145 ± 8,0
	600	0,3		488	32 ± 4,4
Подкожный жир	400	0,7		532	30 ± 1,8
	500	0,4	Ткань артериальной стенки (патология)	308	108 ± 17
	600	0,2		351	116 ± 11
Печень крысы	1064	15,2	488	25 ± 3,7	
Почка крысы	1064	15,5	532	37 ± 4,5	
Пигментный эпителий сетчатки	400	2300	Атеросклеротическая бляшка в извещковом состоянии	249	650
	500	890		308	137 ± 33
	600	460		351	118 ± 17
	800	140		488	42 ± 7,9
	1000	90		532	34 ± 3,7
Зрительный пигмент	514	1587	2940	5000	
			10 600	500	
Сосудистая оболочка глаза	400	92			
	500	130			
	600	92			
	800	34			
	1000	16			

Коэффициенты поглощения некоторых биотканей на отдельных длинах волн представлены в табл. 1.1, они лежат в пределах 10^{11} — 10^4 см⁻¹.

Следует отметить, что ткани передней части глаза являются в видимой области чрезвычайно прозрачными и поглощение в них очень мало. В то же время спектр пропускания в области коротких длин волн определяется светорассеянием. Рассеяние света биообъектами — это одно из самых характерных для них явлений. Оно связано со структурой биосистем, которые, как правило, состоят из большого числа случайно распределенных в объеме рассеивающих центров (исключение составляют лишь некоторые типы тканей, например прозрачные ткани глаза, в которых эта структура упорядочена).

Для многих типов биотканей в УФ и ИК диапазонах длин волн преобладает поглощение, а рассеяние оказывается существенным в видимой и ближней ИК областях: для длин волн 0,45—0,59 мкм поглощение и рассеяние дают примерно равные вклады в коэффициент пропускания ткани, а для длин волн 0,59—1,5 мкм рассеяние превалирует над поглощением. Важной оптической характеристикой биообъекта является также коэффициент отражения. Например, для большинства внутренних органов животных коэффициент отражения на отдельных длинах волн в видимой и ближней ИК областях составляет 10—30 %, кожный покров человека отражает в видимой области 10—60 % световой энергии, а коэффициент отражения глазного дна человека изменяется от 2 до 20 % при изменении длины волны от 0,4 до

1,0 мкм. Отражение обусловлено как скачком показателя преломления на границе биообъект — воздух (френелевское отражение, обычно 4—5 %), так и обратным рассеянием от глубинных слоев ткани. При этом на глубине 4—5 мм, равной примерно трем оптическим толщинам ткани, коллимированный лазерный пучок дает сферически симметричное, близкое к изотропному излучение. Следует отметить, что характер отражения, поглощения, рассеяния и флуоресценции биообъекта можно эффективно изменять разнообразными искусственными приемами. Например, окрашиванием можно изменять спектры отражения и поглощения. Такие биообъекты называются сенсibilизированными, т. е. их чувствительность к свету изменена. Сенсibilизацию биологического материала широко используют при изучении механизмов взаимодействия света с отдельными компонентами этого материала, а также в практической биомедицине для диагностики и селективной фотодеструкции отдельных компонентов биообъекта.

Для мягких кровенаполненных биологических тканей можно существенно, до 40 раз, увеличить их пропускание за счет несильного сдавливания. «Просветление» живой ткани связано с повышением ее оптической однородности за счет уплотнения рассеивающих центров (коллагеновых волокон мышечной ткани) и вытеснения крови из области надавливания, что способствует повышению показателя преломления базового вещества, который становится сравним с показателем преломления мышечной ткани. Выравнивание показателей преломления светорассеивающих центров и базового вещества можно осуществить и за счет введения в ткань соответствующих препаратов.

2. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) основывается на облучении биообъекта когерентным оптическим излучением и регистрации рассеянного сигнала. Метод ЛДФ нашел применение в медицине для анализа периферического кровообращения. Частота излучения, рассеянного движущейся частицей, отличается от частоты зондирующего сигнала (эффект Доплера) что позволяет исследовать большие ансамбли эритроцитов, движущихся в микрососудах. Доплеровская частота пропорциональна скорости движения эритроцитов и зависит от архитектоники сосудов в исследуемом объеме: $f=2nv_r/\lambda$, где n — оптический показатель преломления среды, v_r — проекция скорости частицы на направление зондирования. Методы ЛДФ пригодны для анализа коллективных процессов (большое количество движущихся объектов — клеток крови) в системе микроциркуляции. Приборы ЛДФ позволяют изучать гемодинамику системы микроциркуляции кожи и слизистых оболочек.

3. Традиционная фотобиология с использованием обычных (тепловых) источников света довольно успешно развивалась в течение многих лет (есть свидетельства о том, что еще в

Древнем Египте и Индии тысячи лет назад применялась фототерапия с помощью солнечного света и лекарственных препаратов, изготовленных из фруктов и растений) с выходом в практическую фотомедицину по трем главным направлениям: диагностика, терапия и хирургия. Многое было сделано для понимания процессов фотосинтеза растений и бактерий, выяснения природы зрения, фотопериодических явлений и пр. с помощью этих источников света. Появление принципиально нового инструмента — лазера подняло все эти исследования и приложения на новый, более высокий уровень, стимулировало постановку и успешное решение таких проблем, которые раньше или вовсе не ставились, или решались косвенным путем.

В основе биостимулирующего воздействия лазерной терапии на организм человека — влияние направленного светового потока (лазера) на живую ткань. Поглощая свет, ферменты активизируют в организме важнейшие биохимические процессы, и клетки обновляются, восстанавливают свою жизнедеятельность, включаются механизмы саморегуляции, естественные силы организма мобилизуются. Под воздействием лазерной терапии расширяются капилляры, улучшается микроциркуляция крови, питание тканей, а все это вместе приводит к тому, что ускоряются процессы заживления в пораженных местах. Лазерная терапия благотворно влияет на иммунитет, уменьшает вязкость крови, усиливает лимфоотток, снижает холестерин, обезболивает, обладает антимикробным, антивирусным и противоаллергенным эффектом.

Спектр показаний для лазеротерапии чрезвычайно широк: от патологии кожи и подкожно-жировой клетчатки до воспалительных заболеваний дыхательной и мочеполовой систем, а также многие болезни нервной, эндокринной и сердечно-сосудистой систем. Одно из свойств лазера — повышение чувствительности организма к медикаментозному лечению. Благодаря этому лазеротерапия помогает сократить время лечения, предотвратить переход острого процесса в хронический, а главное, добиться положительного эффекта минимальными дозами лекарств. Эффективность лазерной терапии чрезвычайно высока. А отсутствие побочных эффектов делает лечение лазером хорошим средством медицинской профилактики. Короткие сеансы лазеротерапии, которые проходит пациент в отдаленные периоды после лечения, укрепляют здоровье: стимулируют обменные процессы, питание органов и тканей, снижают вероятность наступления ранних возрастных изменений, в частности, климакса у женщин, и половой слабости у мужчин.

4. Применение лазеров в хирургической практике имеет ряд преимуществ, обусловленных спецификой воздействия лазерного излучения на биологические ткани. Возможность высокой концентрации световой энергии в малых объемах позволяет

избирательно воздействовать на биоткани и дозировать степень этого воздействия от коагуляции до их испарения и разреза.

Лазерное излучение позволяет удалять ткани, при визуальном контроле, не повреждаются окружающие патологический очаг здоровые ткани, лазерные операции практически бескровные, заживление лазерных ран происходит быстрее и качественнее, чем при использовании других методов оперативного лечения. Бесконтактное удаление биологических тканей осуществляется с минимальной травматизацией и с высокой точностью. Это, в свою очередь, предотвращает образование рубцов и дает хороший косметический эффект при вмешательствах на коже. Хороший гемостаз в зоне воздействия лазера приводит к тому, что практически отсутствует отек в области раны, а, следовательно, послеоперационный период протекает без боли. Лазерное излучение обладает бактерицидным действием, поэтому лазерные раны стерильны. Проникая глубоко в ткани лазер активизирует клетки в результате чего ускоряются процессы заживления лазерных ран.

Учитывая все преимущества высокоэнергетических лазеров понятно их широкое применение практически во всех областях хирургии и в косметологии. С помощью лазера можно удалять опухоли расположенные в местах, труднодоступных для операций с применением скальпеля, а также в тех случаях, когда эти операции могут привести к деформации органа или к плохому косметическому результату. Это локализация новообразований на нижнем или верхнем веке, на нижнем или верхнем крае крыла носа, на кончике носа, на нижней части входа в полость носа, на внутренней поверхности ушных раковин, в области анального канала и др.

Лазерное испарение не занимает много времени, не вызывает каких-либо побочных реакций в организме, его осуществляют в амбулаторных условиях.

С помощью лазера можно удалять различные нагноившиеся новообразования, а также длительно незаживающие язвы. На их месте в процессе заживления остается едва заметный тонкий рубчик. Сроки заживления сокращаются на 10-14 дней по сравнению с другими хирургическими методами.

ЛЕКЦИЯ 5.

Технологические лазерные операции. Лазеры в промышленности. (2ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

1. Лазерная резка материалов.
2. Лазерная сварка/лазерная пайка. Особенности и применения.
3. Лазерное сверление отверстий.
4. Лазерная маркировка и гравировка изделий.
5. Лазерное термоупрочнение. Термоупрочняемые материалы.
6. Лазерное легирование.
7. Вакуумно-лазерное напыление.
8. Лазерная стереолитография.
9. Лазерное скрайбирование.

1. **Лазерная резка** – это процесс разделения/раскроя материалов или вырезания сложных контуров с использованием лазерного излучения высокой мощности. Сфокусированный лазерный луч, обычно управляемый компьютером, обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет разрезать практически любые материалы независимо от их теплофизических свойств. В процессе резки, под воздействием лазерного луча материал разрезаемого участка плавится, возгорается, испаряется или выдувается струей газа. Особенности лазерной резки:

- возможно получить узкие резы с минимальной зоной термического влияния
- отсутствием механического воздействия на обрабатываемый материал, минимальные деформации, и как следствие возможно работать с легкодеформируемыми и мягкими заготовками;
- обработка сверхтвердых материалов (например, алмаза);
- независимость направления распиловки от ориентации кристалла;
- из-за большой мощности лазерного излучения обеспечивается высокая производительность процесса в сочетании с высоким качеством поверхностей реза;
- легкое и сравнительно простое управление лазерным излучением позволяет осуществлять лазерную резку по сложному контуру плоских и объемных деталей и заготовок с высокой

степенью автоматизации процесса;

- при выпуске небольших партий продукции целесообразнее провести лазерный раскрой материала, чем изготавливать для этого дорогостоящие пресс-формы или формы для литья.

Для лазерной резки металлов применяют технологические установки на основе твердотельных, волоконных лазеров и газовых CO₂-лазеров, работающих как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режимах излучения.

2. Лазерная сварка — технологический процесс получения неразъёмного соединения посредством установления межатомных и межмолекулярных связей между свариваемыми частями изделия при их лазерном нагреве (максимум 10^{16} - 10^{17} Вт/см² в импульсном режиме и минимум 10^8 - 10^9 Вт/см²). Сварка применяется для соединения металлов и их сплавов, термопластов во всех областях производства и в медицине. У других высококонцентрированных источников много общих параметров с лазерным лучом, когда он выступает в роли источника нагрева при термической обработке материалов. Но у лазерного луча есть куча своих «профессиональных» преимуществ:

- обработка локального участка продукта, при котором не нагревается весь остальной объем деталей, структура не нарушается;
- высокая плотность мощности излучения позволяющая обрабатывать тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден);
- возможность соединения материалов с различными оптическими, теплофизическими и механическими свойствами;
- при высокой интенсивности воздействия нагрев и охлаждение материала происходит с очень большими скоростями и в очень маленьком отрезке времени – в результате можно добиться оригинальных свойств и структуры обработанной поверхности;
- высокая технологичность лазерного луча, легкость автоматизации процесса;
- возможность транспортировки излучения, возможность обработки на воздухе, регулирование параметров обработки в большом количестве интервалов режимов, отсутствие вредных отходов.

Лазерная пайка характеризуется высокой геометрической точностью, прецизионностью дозировки энергии и малым временем теплового воздействия на паяное соединение. Пайку можно производить вблизи термочувствительных элементов, избегать отжига паяных элементов конструкции. Может применяться для локального ремонта непропаев в серийных технологиях. Часто используется в микроэлектронике для пайки контактов, для ремонта ювелирных изделий,

часовых механизмов, ремонт браслетов часов.

3. Лазерное сверление отверстий – одним из первых промышленных применений лазера является сверление отверстий малого диаметра (0,005 мм) в алмазных волокнах и рубиновых подшипниках для часов. Использование лазерной установки сокращает время просверливания отверстия в сверхтвердых материалах с 20—30 мин до нескольких секунд. В то же время лазер не дает никаких преимуществ, например при высверливании отверстия диаметром 2 мм в пластине из латуни. Однако при высверливании отверстия диаметром 0,05 мм в детали толщиной 0,05 мм преимущество лазера бесспорно. Таким образом, лазер дополняет, но не заменяет обычной технологии. Сверление отверстий лазером состоит из нескольких одновременно протекающих процессов. В упрощенном виде при лазерном сверлении твердый материал превращается в пар и удаляется из области взаимодействия, обнажая последующий слой, который при дальнейшем воздействии лазерного пучка испаряется. В действительности прямой переход твердого вещества в пар сопровождается образованием осадка в веществе и расплавленного слоя на стенке и дне отверстия. Конденсирующиеся шлаки и осколки препятствуют проникновению луча, ограничивая глубину сверления. Следовательно, прямолинейность и контур поверхности, конусность отверстия и отсутствие микротрещин зависят от интенсивности лазерного излучения, времени облучения и теплофизических свойств облучаемого материала. Единичным лазерным импульсом можно получить отверстие, максимальная глубина которого составит пять-шесть его диаметров. В отверстиях большей глубины обнаруживаются неровность контура, раковины на стенках полости и др. При использовании периодических импульсов увеличивается глубина отверстия до десяти диаметров, но удлиняется время обработки. Лазерным лучом можно сверлить практически любые материалы (например, полупроводниковые, дерево, бумагу, керамику, пластмассу и др.).

4. Лазерная маркировка. Лазерную маркировку применяют во многих отраслях промышленности. Один из вариантов основан на использовании коротких и мощных импульсов СО₂-лазера, которые снимают поверхностные слои. Излучение лазера направляется на неподвижную маску, проецируемую на рабочую поверхность. Текст, записанный на маске, выжигается на детали. Производительность системы определяется механической частью оборудования, перемещающей детали в рабочее положение. Для маркировки кремниевых пластин используют гранатовый лазер. Глубина проникновения меток в пластину должна быть не менее 5 мкм, чтобы маркировка оставалась различимой и после технологических операций, вызывающих сильную эрозию поверхности пластины.

5. Лазерное термоупрочнение. Высокая скорость нагрева и охлаждения, обеспечиваемая

большой мощностью лазерного излучения, позволяет видоизменять микроструктуру поверхности металлов и керамики. При лазерном упрочнении происходит локальная закалка тонкого приповерхностного слоя только в местах деталей, подвергающихся износу, и обеспечивается более высокая твердость поверхности. Это объясняется высокой скоростью охлаждения и, следовательно, уменьшением размеров кристаллов металла и увеличением плотности дислокаций. Лазерная обработка поверхности повышает ее стойкость к коррозии, поскольку при быстром охлаждении тонкого расплавленного слоя на кристаллических материалах образуются аморфные слои, остеклованные поверхностные слои, тонкие дендритные структуры и т.д. При упрочнении поверхность материала быстро нагревается и охлаждается, не расплавляясь. При глазуровании образуется тонкий слой расплава, который, остывая, формирует поверхность разнообразной структуры (с малой пористостью и такими микроструктурными характеристиками, которые нельзя получить обычными методами).

6. Лазерное легирование. Лазерное легирование заключается в насыщении материала легирующими элементами посредством диффузии предварительно нанесенного слоя под воздействием лазерного пучка. При этом достигается высокая концентрация легирующих компонентов в поверхностных слоях материалов. Лазерная наплавка состоит в расплавлении нанесенного на изношенную поверхность изделия слоя материала под воздействием излучения высокой плотности мощности. За счет этого достигается проплавление материала нанесенного слоя и основы, что способствует повышению их адгезионной прочности. Технология лазерного легирования включает в себя предварительное нанесение тонкого слоя из легирующих компонентов и последующее его проплавление лазерным лучом совместно с основой. Нанесение легирующих элементов может осуществляться обмазкой, прокаткой, электрохимическим осаждением, электроискровой обработкой, методами напыления. При выборе метода нанесения покрытия следует учитывать необходимость обеспечивать хороший термический контакт покрытия с основой. В основе лазерного легирования рабочих поверхностей режущего инструмента лежит введение присадок в процессе лазерного нагрева. При этом выбор систем легирования проводится целенаправленно в зависимости от условий эксплуатации режущего инструмента. Образующиеся новые фазы и соединения резко повышают микротвердость поверхностного слоя, а в некоторых случаях увеличивают и его теплостойкость.

7. Вакуумно-лазерное напыление – импульсное лазерное напыление (англ. pulsed laser deposition) — получение пленок и покрытий путем конденсации на поверхности подложки продуктов взаимодействия в вакууме импульсного лазерного излучения с материалом мишени

(при абляции). Метод импульсного лазерного напыления относится к группе методов физического осаждения из газовой фазы. Взаимодействие высокоэнергетического лазерного импульса с материалом мишени приводит к образованию целого ряда продуктов, среди которых присутствуют не только электроны, ионы и нейтральные частицы, но и твердые микрочастицы материала мишени, отрывающиеся при взрывообразном испарении материала. Траектория дальнейшего движения этих частиц и их распределение по энергиям существенно зависят не только от интенсивности, продолжительности и частоты лазерных импульсов, но и от давления в рабочей камере. Проведение лазерной абляции в глубоком вакууме приводит к образованию узкого факела продуктов, в котором велика доля заряженных частиц, а при образовании пленки в этих условиях велика роль процессов вторичного распыления конденсата высокоэнергетическими заряженными частицами. Напротив, при повышении давления в камере облако продуктов абляции состоит преимущественно из нейтральных частиц и приближается по свойствам к пару низкого давления.

Получение в этих условиях высококачественных пленок и покрытий является сложной научно-технической задачей, которая в настоящее время успешно решена для ряда материалов. К числу основных преимуществ метода лазерной абляции относится, прежде всего, высокая степень соответствия катионной стехиометрии формируемых пленок составу материала мишени, что вызывает серьезные трудности во многих других методах и особенно важно при осаждении многокомпонентных материалов. Высокая степень пересыщения при конденсации продуктов абляции приводит к интенсивному зародышеобразованию по всей поверхности подложки и высокой морфологической однородности формируемой пленки. Метод характеризуется также весьма высокой для тонкопленочных методов скоростью напыления, которая, однако, позволяет получать пленки высокой степени кристалличности. Немаловажным фактором является и практически полное отсутствие загрязнений пленки компонентами материалов камеры и вспомогательных устройств за счет малой ширины луча. Расположения излучателя за пределами вакуумной камеры позволяет также в широких пределах варьировать состав газовой атмосферы при напылении. К недостаткам метода относятся малый геометрический размер зоны однородного напыления при абляции в вакууме, обусловленный малым диаметром факела продуктов абляции, а также возможность загрязнения пленки твердыми частицами и каплями расплава материала мишени при высоких скоростях осаждения.

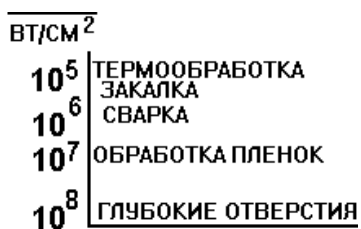
8. Лазерная стереолитография. Технология лазерной стереолитографии основана на фотоинициированной лазерным излучением или излучением ртутных ламп полимеризации фотополимеризующейся композиции (ФПК). С помощью этой технологии спроектированный на

компьютере трёхмерный объект выращивается из жидкой ФПК последовательными тонкими (0,1—0,2 мм) слоями, формируемыми под действием лазерного излучения на подвижной платформе, погружаемой в ванну с ФПК. Лазерная стереолитография позволяет в кратчайшие сроки (от нескольких часов до нескольких дней) пройти путь от конструкторской или дизайнерской идеи до готовой модели детали.

9. Лазерное скрайбирование - это процесс раскроя таких неметаллических материалов, как керамика, кремний или стекло. При скрайбировании лазером прорезают риски глубиной 25-350 мкм, слегка углубляющиеся в подложку. Затем, приложив механическое усилие, пластину разделяют на отдельные части. Метод лазерного скрайбирования имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами: отсутствие трещин и сколов; сквозное разделение пластин; высокая скорость обработки (до 250 мм/с); экономия полупроводниковых материалов благодаря более тесному расположению приборов на пластине из-за малой ширины реза и дефектной зоны, которая не превышает 50 мкм. Однако при лазерном скрайбировании недостаточно стабильны механические характеристики боковых граней некоторых приборов, в результате этого кристаллы малопригодны для дальнейшей автоматической сборки. Поэтому лазерное скрайбирование в основном применяют для производства дискретных приборов.

Лазерные технологические процессы имеют большие возможности для решения как мелких, так и крупных производственных задач. Использование лазерной техники позволяет производству выйти на более серьёзный и высокоинтеллектуальный уровень.

Диаграмма для выбора мощности лазера исходя из проводимого технологического процесса.



ЛЕКЦИЯ 6.

Лазеры в науке. Лазерная связь. Космос и военные применения лазеров. (2ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

1. Лазерная локация космических объектов.
2. Применение лазеров в измерительной технике: лазерные дальномеры, лазерный гироскоп, измерение времени, давления, температуры, скоростей потоков жидкостей и газов, концентраций веществ, оптических параметров и т.п.
3. Лазерная термохимия.
4. Лазерный термоядерный синтез.
5. Лазерные применения в военных целях: средства наведения, прицеливания, боевые системы и т.п.
6. Лазерная связь.

1. Оптическая локация - совокупность методов обнаружения, измерения координат, а также распознавания формы удалённых объектов с помощью электромагнитных волн оптического диапазона — от ультрафиолетовых до дальних инфракрасных. О. л. позволяет с высокой точностью (до нескольких десятков см) производить картографирование земной поверхности, поверхности Луны, определять расстояние до облаков, самолётов, космических, надводных и подводных (используя зелёный участок спектра) объектов, исследовать распределение инверсионных и аэрозольных слоев в атмосфере. Практически создание оптических локаторов с большой дальностью действия, высокими точностью и разрешающей способностью стало возможным только с появлением таких мощных источников когерентного излучения, как оптические квантовые генераторы — Лазеры. В О. л. используются те же принципы определения координат, что и в радиолокации: оптический локатор облучает объект с помощью передатчика и принимает отражённое от него излучение при помощи приёмника. Электрический сигнал на выходе приёмника содержит информацию о параметрах лоцируемого объекта; характеристики этого сигнала в среднем пропорциональны координатам объекта. Методы обнаружения объектов оптическим локатором и определения их угловых координат в основном такие же, как в тепlopеленгации, а методы определения дальности такие же, как в радиолокации. Вследствие квантового характера взаимодействия лазерного излучения с

детектором приёмника и когерентности лазерного излучения методы обработки сигнала в О. л. являются статистическими. Если оптический локатор определяет только расстояние до объектов, он называется электрооптическим Дальномером.

Схема и принцип действия одного из типов оптического локатора для слежения за авиационными и космическими объектами показаны на рис. Луч лазера, пройдя через Коллиматор, системой зеркал направляется на объект. Отражённый от объекта луч улавливается плоским зеркалом и направляется на параболическое зеркало, с которого поступает одновременно на Диссектор (или матрицу фотоприёмника) — для определения угловых координат и на Фотозлектронный умножитель (или иной детектор) — для определения дальности объекта. Электрические сигналы с диссектора подаются в следящую систему управляющую положением передающей и приёмной оптических систем локатора.

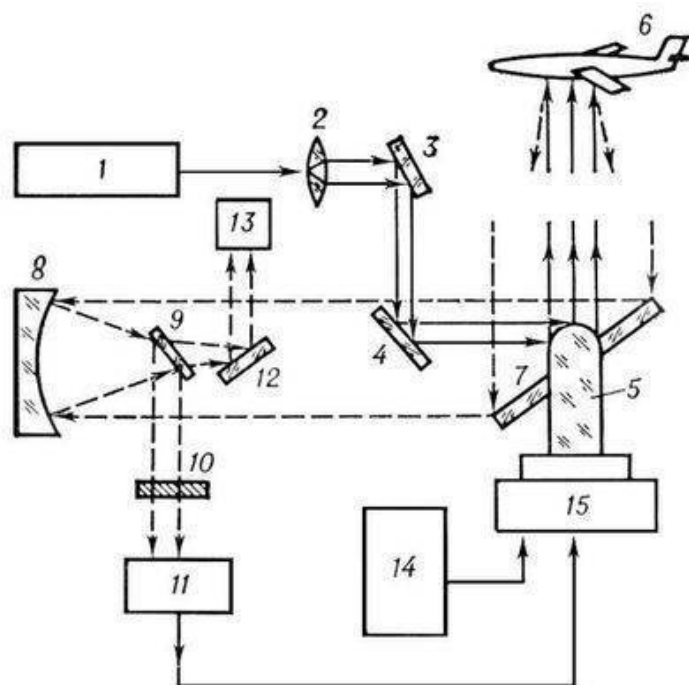


Схема и принцип действия оптического локатора: 1 — передатчик (лазер); 2 — коллиматор; 3, 4 — зеркала; 5 — передающая оптическая система; 6 — лоцируемый объект; 7 — приёмная оптическая система; 8 — зеркало; 9 — полупрозрачное зеркало; 10 — узкополосный оптический фильтр; 11 — диссектор; 12 — зеркало; 13 — приёмник дальномерного устройства (фотозлектронный умножитель); 14 — устройство ручного управления; 15 — следящая система. Пунктиром показан ход лучей, отражённых от объекта.

Основные преимущества оптических локаторов перед радиолокаторами — бóльшая

точность определения угловых координат объектов (по максимуму отражённого сигнала) и высокая разрешающая способность по дальности. Например, при использовании лазерного луча с углом расхождения, равным $10'$, погрешность определения угловых координат объекта составляет менее $1'$ (у радиолокаторов — $25—30'$); при длительности светового импульса 10 нсек разрешение по дальности может достигать нескольких см. Кроме того, оптический локатор обладает высокой угловой разрешающей способностью, т. е. способностью различать 2 соседних равноудалённых объекта, которая обусловлена очень высокой направленностью излучения. Высокая разрешающая способность оптического локатора даёт возможность решать задачу распознавания формы объектов. Существенный недостаток оптических локаторов — затруднительное использование их в сложных метеорологических условиях (при дожде, тумане, снеге и т.п.) для локации объектов на далёких расстояниях.

2. Лазерный дальномер — прибор для измерения расстояний с применением лазерного луча.

Широко применяется в инженерной геодезии, при топографической съёмке, в военном деле, в навигации, в астрономических исследованиях, в фотографии. Современные лазерные дальномеры в большинстве случаев компактны и позволяют в кратчайшие сроки и с большой точностью определить расстояния до интересующих объектов.

Лазерные дальномеры различаются по принципу действия на импульсные и фазовые.

Импульсный лазерный дальномер это устройство, состоящее из импульсного лазера и детектора излучения. Измеряя время, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно и зная значение скорости света, можно рассчитать расстояние между лазером и отражающим объектом. Лазерный дальномер — простейший вариант лидара.

Способность электромагнитного излучения распространяться с постоянной скоростью даёт возможность определять дальность до объекта. Так, при импульсном методе дальнометрирования используется следующее соотношение:

$$L = \frac{ct}{2n}$$

где L — расстояние до объекта, c — скорость света в вакууме, n — показатель преломления среды, в которой распространяется излучение, t — время прохождения импульса до цели и обратно.

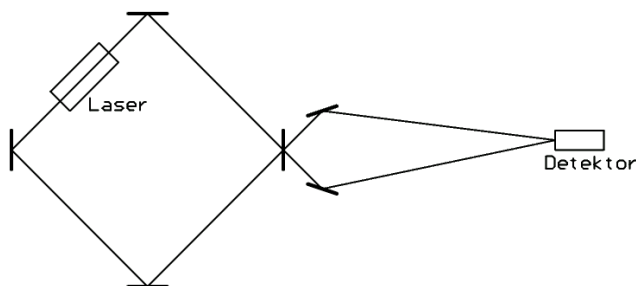
Рассмотрение этого соотношения показывает, что потенциальная точность измерения дальности определяется точностью измерения времени прохождения импульса энергии до объекта и обратно. Ясно, что чем короче фронт импульса, тем лучше.



Расстояние до цели	1 м	10 м	100 м	1 км	10 км	100 км
Время отклика	6.7 нс	67 нс	0.67 мкс	6.7 мкс	67 мкс	0.67 мс

Фазовый лазерный дальномер - это дальномер, принцип действия которого основан на методе сравнения фаз отправленного и отражённого сигналов. Фазовые дальномеры обладают более высокой точностью измерения по сравнению с импульсными дальномерами. Также фазовые дальномеры дешевле в производстве. Именно фазовые дальномеры получили широкое распространение в быту.

Лазерный гироскоп — оптический прибор для измерения угловой скорости, обычно применяется в системах инерциальной навигации. Лазерные гироскопы используют эффект Саньяка — появление фазового сдвига встречных световых волн во вращающемся кольцевом интерферометре.



Лазерный гироскоп обычно представляет собой кольцевой резонатор с тремя или четырьмя зеркалами, расположенными по углам полости в форме треугольника или квадрата. Два лазерных луча, генерируемые и усиливающиеся в полостях гироскопа, непрерывно циркулируют по резонатору в противоположных направлениях. В лазерном гироскопе создаётся и поддерживается стоячая волна, а её узлы и пучности в идеальном случае связаны с инерциальной системой отсчёта. Таким образом, положение узлов и пучностей не меняется если гироскоп не вращается (в плоскости кольцевого контура) относительно инерциальной системы отсчёта, а при повороте резонатора (корпуса гироскопа) фотоприёмники измеряют угол

поворота, считая пробегающие по ним интерференционные полосы.

На точность лазерных гироскопов негативно влияет захват частот в активной среде, где лазерный луч усиливается. Таким образом возникает нелинейность характеристики типа зона нечувствительности. Для её исключения гироскоп обычно помещают на виброподвес.

Чувствительность лазерного гироскопа пропорциональна площади поверхности, ограниченной лучами лазера.

3. Лазерная термохимия – изучает химические процессы, стимулируемые лазерным излучением, в которых решающую роль играют специфические свойства лазерного излучения. Так, высокая монохроматичность лазерного излучения позволяет селективно возбуждать молекулы одного вида, при этом молекулы др. видов остаются невозбужденными. При этом селективность возбуждения ограничена лишь степенью перекрывания полос в спектре поглощения вещества. Подбирая частоту возбуждения, удается не только осуществлять избирательную активацию молекул, но и менять глубину проникновения излучения в зону реакции. Использование импульсов излучения малой длительности позволяет в принципе снять ограничение селективности, связанное с обменом энергией между различными молекулами или между различными химическими связями в одной молекуле. Большая интенсивность лазерного излучения дает возможность получать возбужденные молекулы или радикалы в высоких концентрациях. Наконец, возможность фокусировки лазерного излучения позволяет вводить энергию локально, в определенную область объема, занимаемого реагирующей смесью. Лазерное воздействие на химической реакции может быть тепловым и фотохимическим. При тепловом воздействии реагирующая смесь только нагревается, энергия распределяется равномерно по всем степеням свободы реагирующих молекул.

Преимущество лазерного нагрева – возможность вводить энергию в нужное место реакционного объема и за очень короткое время, а также избегать нежелательного контакта реагентов с нагреваемой поверхностью реактора. Локальный нагрев реагентов при этом может достигать тысяч градусов, что крайне трудно при других способах нагрева.

Химическая реакция часто представляет собой нелинейный процесс, имеющий сложное пространственно-временное поведение и описываемый нелинейными дифференциальными уравнениями с бифуркационными параметрами. Таким параметром могут быть температура или параметр, характеризующий распределение тепла в реагирующем объеме. Воздействие лазерного излучения на реагирующую смесь вблизи точек бифуркации позволяет резко изменять режим теплового химического процесса при малых затратах лазерной энергии. Фотохимическое воздействие лазерного излучения дает возможность достигать концентраций

возбужденных молекул или радикалов, намного превышающих равновесное значение при данной температуре. Из-за большой интенсивности излучения осуществляется многоквантовое возбуждение, при котором в одном элементарном акте возбуждения поглощается одновременно несколько квантов излучения. Таким образом, можно получать молекулы в высоковозбужденных состояниях с помощью широко доступных лазеров видимого и ближнего УФ диапазонов и повысить избирательность возбуждения, т. к. в далеком УФ диапазоне полосы поглощения мн. молекул сильно перекрываются. Наиболее специфично фотохимическое действие лазерного излучения в ИК области, поскольку создать в этой области длин волн источники некогерентного излучения, сравнимые по мощности с лазерами и позволяющие осуществлять фотолиз, практически невозможно. Под действием лазерного ИК излучения стимулирование химических процессов в газах происходит путем резонансного возбуждения колебательной степеней свободы молекул. Подбором условий (давление газа, интенсивность и частота лазерного излучения) удается достичь высокой сверхравновесной концентрации колебательно возбужденных молекул и осуществить их диссоциацию (фрагментацию). Достаточно коротким (10^{-7} с) и интенсивным (10^7-10^9 Вт/см²) импульсом излучения при малом давлении (доли мм рт. ст.) оказывается возможным возбудить и фрагментировать молекулы за времена более короткие, чем время межмолекулярного обмена энергией при их столкновениях. Важным является то, что при этом достигается высокая межмолекулярная селективность. Достигаемая селективность активации может быть использована для лазерного изотопов разделения и получения особо чистых веществ. Предполагается, что с помощью лазерного ИК излучения окажется возможной и внутримолекулярная селективность активации молекул по заранее обусловленной химической связи (или группе связей). Препятствием на пути к этому является быстрый обмен энергией между различными типами колебаний, резко ускоряющийся при увеличении колебательной энергии.

Фотохимическое действие лазерного излучения в видимом и УФ диапазонах менее специфично, чем в ИК области, тем не менее благодаря большой интенсивности излучения оно используется для возбуждения молекул в высоколежащие электронные уровни энергии и ионизации, которая происходит в результате поглощения нескольких фотонов в одном элементарном акте реакции. Это позволяет отказаться от использования коротковолнового излучения обычных источников, заменив его сравнительно длинноволновым лазерным излучением

Лазерное излучение используют для стимулирования реакций в твердых телах, в частности при создании больших интегральных схем в микроэлектронике. Соответствующие реакции могут

быть и чисто тепловыми, и фотохимическими. Решающий фактор - возможность острой фокусировки лазерного излучения и гибкого управления им. В биохимии лазеры применяют для воздействия на различные компоненты макромолекул, например на остатки аминокислот белков. Лазерное излучение также влияет на ферментативные реакции, коагуляцию крови, иммунную активность антител и др. процессы, в которых существенны процессы изменения конформации белковых макромолекул. Поскольку это требует меньшей энергии, чем энергия химической связи, такое воздействие возможно при сравнительно малых дозах лазерного облучения. Применение лазерного излучения в химии наиболее эффективно для процессов, связанных с получением дорогостоящих продуктов и изделий (разделение изотопов, создание интегральных схем для микроэлектроники, синтез особо чистых веществ и реактивов, потребляемых в небольших количествах). Использование лазеров в крупнотоннажных производствах, по-видимому, пойдет по пути инициирования технологических процессов, базирующихся на цепных реакциях. При длине цепи L каждый химически активный центр, созданный лазерным излучением, даст L молекул продукта. Тогда энергетическая стоимость продукта оказывается равной $Qh^{-1}L^{-1}$, где Q - затраты лазерной энергии на создание активной молекулы или радикала, h - КПД лазера. При большой длине цепи ($\sim 10^3$ — 10^4) стоимость лазерной энергии перестает быть решающим фактором даже для крупнотоннажного производства.

4. ЛТС. Один из способов решить проблему удержания нагретой плазмы в ядерном реакторе может заключаться в использовании лазеров. При этом небольшой объём топлива облучается мощным лазерным излучением (иногда лазерное излучение предварительно трансформируется в рентгеновское) со всех сторон в течение небольшого (порядка нескольких наносекунд) промежутка времени. В результате облучения поверхность мишени испаряется, оказывая огромное давление на внутренние слои. Это давление сжимает мишень до сверхвысоких плотностей. В сжатой мишени могут протекать термоядерные реакции при достижении определённой температуры. Нагрев возможен как непосредственно силами давления, так и с использованием дополнительного сверхмощного и сверхкороткого (порядка нескольких фемтосекунд) лазерного импульса.

Лазерное разделение изотопов - разделение изотопов, основанное на изотопическом сдвиге уровней энергии атомов и молекул и использовании резонансного воздействия лазерного излучения.

Интенсивное монохроматическое излучение лазера, вызывая переходы между соответствующими энергетическими уровнями атомов и молекул, переводит молекулы, которые

содержат выбранный изотоп или его атомы, в возбуждённое состояние вплоть до их ионизации или диссоциации молекул. После этого становится возможным отделение возбуждённых атомов и молекул различными физическими (напр., ионы — электрическим полем) или химическими методами. Для обеспечения эффективности процесса разделения необходимо, чтобы резонансные переходы были достаточно узкими и чтобы скорость извлечения изотопа была больше, чем скорость передачи возбуждения др. изотопам. Поэтому для лазерного разделения изотопов удобны газообразные вещества, в спектрах которых изотопический сдвиг больше уширения спектральных линий. Селективность и коэффициент разделения увеличиваются при уменьшении плотности газа или использовании молекулярных и атомных пучков, но при этом уменьшается производительность. Т. о., возникает та же проблема, что и в традиционных методах разделения изотопов: чем больше коэффициент разделения, тем меньше производительность.

Сформировались две основные схемы лазерного разделения изотопов — многоступенчатая и одноступенчатая. В многоступенчатой схеме атомы или молекулы резонансным излучением лазера переводятся в возбуждённое состояние, из которого под действием других лазеров они ионизируются или молекулы диссоциируют. Величина квантов излучения второго лазера должна быть меньше энергии ионизации атома или диссоциации молекулы или энергии молекулы в невозбуждённом состоянии. Процессы второй ступени должны происходить быстрее, чем передача возбуждения др. изотопам. Это означает, что источники излучения должны быть достаточно мощными. На второй ступени возможно применение и нелазерных источников возбуждения: импульсных газоразрядных ламп, электрических полей и т. п.

В одноступенчатой схеме мощное лазерное излучение вызывает фиксируемое изменение свойств атомов или молекул при переходе сразу из основного состояния. В этих случаях для отделения возбуждённых молекул необходимо использовать взаимодействия, энергия которых сравнима с величиной кванта возбуждения, напр. взаимодействия на границе раздела фаз.

5. Лазерные применения в военных целях: средства наведения, прицеливания, боевые системы и т.п.

Лазерный целеуказатель (ЛЦУ) — портативное устройство, генерирующее лазерное излучение в видимом или инфракрасном диапазоне спектра. Используется для ускорения и облегчения прицеливания на коротких и средних дистанциях стрельбы.

Лазерный луч формирует на цели яркую точку, соответствующую месту попадания пули, как если бы та двигалась прямолинейно, а не по баллистической траектории. Как правило, на дистанциях стрельбы от 50 до 300 метров (в зависимости от типа оружия) пуля движется

практически прямолинейно, что позволяет с достаточно малой погрешностью (с учётом параллакса) приравнять место нахождения создаваемой ЛЦУ светящейся точки к месту попадания пули.

В большинстве случаев лазерный целеуказатель изготавливается на основе лазерного диода, который излучает в диапазоне 405 нм (фиолетовый, очень редко) или 635—670 нм (красный). Из-за технических особенностей данного типа излучателя наиболее часто используется лазерный луч красного цвета. Инфракрасные целеуказатели используют лазерные диоды длины волн 780, 808 и 850 нм (такие лазерные целеуказатели используют совместно со специальными прицелами, зачастую на основе приборов ночного видения). Излучение лазерного диода фокусируется в узкий луч за счёт двояковыпуклой линзы. Для производства лучей зелёного цвета используют несколько отличающуюся систему DPSS (твердотельный лазер с диодной накачкой с длиной волны 532 нм), увеличивающую массу и стоимость лазерного целеуказателя (но при этом обладающим серьёзным преимуществом: чувствительность глаза человека к зеленому цвету гораздо лучше, и при одинаковой мощности излучателя зеленое пятно видно лучше и дальше).

Кроме собственно лазера и источника питания в состав лазерного целеуказателя входит специальное крепление, иногда позволяющее снимать и ставить ЛЦУ без потери точности установки. Оно должно также сохранять точную позицию лазерного целеуказателя при изменении температуры и влажности. Обычно также имеется механизм точной корректировки луча (характерные «трещотки», как на оптических прицелах). Ещё одно важное требование — лазерный целеуказатель должен выдерживать импульс отдачи оружия, для которого он предназначен.

Лазерное оружие — это оружие, прототипы которого уже существуют на данный момент, но они слишком громоздки и их образцы невозможно использовать в мобильных войсках. (В настоящее время только довольно крупные мобильные боевые единицы — например, морские крейсеры и тяжелые самолеты — способны нести такое оружие.) В Советском Союзе лазерное оружие имелось на вооружении в некоторых специальных подразделениях. В частности, пистолеты использовались в космической отрасли, а карабины марки ЛК ("Лучевой карабин") находились на складах, как минимум до 1995 года информации о боевом применении такого оружия нет. В данное время ведутся разработки новых технологий изготовления лазерного оружия для применения его в научных экспериментах, а также для боевого применения. Ручное лазерное оружие создать пока проблематично, в основном из-за больших размеров необходимых элементов питания если их создавать на основе ныне существующих технологий.

Одним из видов нелетального оружия, которое может способствовать пресечению преступных действий направленных против сотрудников МВД и специальных подразделений, выполняющих свои обязанности по защите правопорядка и при захвате правонарушителей, является лазерное оружие. Их применение при самообороне обеспечивает малую степень риска для здоровья и жизни обороняющегося. Действие этих устройств достигается за счет направленного на нарушителя луча лазера красного или зеленого цвета, вызывающего временное ослепление и психологическое воздействие, приводящих к неспособности человека выполнять координированные (осознанные) действия, тем самым, снижая боеспособность нарушителя и препятствуя его продвижению вперед. Яркий свет лазера, развернутый в линию и сканирующий по местности, создает эффект световой завесы не позволяя снайперам противника вести прицельную стрельбу, а в ряде случаев и визуальное наблюдение через оптические приборы. В соответствии с «Дополнительным протоколом к конвенции о запрещении или ограничении использования конкретных видов обычного оружия, которые могут приводить к многочисленным травмам или тотальному эффекту» (Вена октября 1995), запрещено использование лазерного оружия, одной из функций которого является приведение к полному, невосстанавливаемому ослеплению, при использовании его на невооруженный или оснащенный средствами коррекции зрения глаз. В соответствии с нормами по безопасности МЭК, мощность лазерного источника должна находиться между двумя пределами где: верхний предел ограничивает максимальную мощность воздействия не приводящую к ожогам и необратимым последствиям глаз ($2,5 \text{ мВт/см}^2$), нижний предел ($\text{менее} 1 \text{ мВт/см}^2$), определяет мощность достаточную для достижения временного ослепляющего воздействия. Для защиты сетчатки глаза от поражения, маломощными лазерами на малом расстоянии, можно снабжать лазерные излучатели измерителями расстояния, автоматически снижающими мощность излучения или отключающими излучатель. Дополнительно, портативные лазеры могут использоваться для подачи сигналов предупреждения, бедствия, как средство обмена информацией, при ведении разведывательных операций, за счет узконаправленного излучения на больших расстояниях.

6. Лазерная связь, осуществленная впервые всего два десятилетия назад, связь с помощью светового пучка, снова воскресила идеи оптического телеграфа, но, разумеется, на гораздо более высоком уровне - эта связь практически не имеет помех - качество вне конкуренции; кроме того, по одному лазерному лучу можно одновременно вести несколько десятков телефонных разговоров.

В гетеродинных системах лазерной связи и в гетеродинных интерферометрах применяющихся для астральных наблюдений, обычно используют ИК-излучение с длиной волны 10 мкм. В этом

диапазоне по сравнению с видимым уменьшаются искажения, вносимые турбулентной атмосферой, облегчается выполнение условий пространственного согласования волн, и в этой области в атмосфере имеется окно прозрачности.

В основе беспроводных оптических систем лежат технологии организации высокоскоростных каналов связи посредством инфракрасного излучения, делают возможной передачу данных (текстовые, звуковые, графические данные) между объектами через атмосферное пространство, предоставляя оптическое соединение без использования стекловолокна.

Лазерная связь двух объектов осуществляется только посредством соединения типа «точка-точка». Технология основывается на передаче данных модулированным излучением в инфракрасной части спектра через атмосферу. Передатчиком служит мощный полупроводниковый лазерный диод. Информация поступает в приемопередающий модуль, в котором кодируется различными помехоустойчивыми кодами, модулируются оптическим лазерным излучателем и фокусируется оптической системой передатчика в узкий коллимированный лазерный луч и передается в атмосферу.

На принимающей стороне оптическая система фокусирует оптический сигнал на высокочувствительный фотодиод(или лавинный фотодиод), который преобразует оптический пучок в электрический сигнал. При этом, чем выше частота (до 1,5ГГц), тем больше объём передаваемой информации. Далее, сигнал демодулируется и преобразуется в сигналы выходного интерфейса.

Длина волны в большинстве реализованных систем варьируется в пределах 700—950 нм или 1550 нм, в зависимости от применяемого лазерного диода.

Ключевой принцип АОЛС основан на компромиссе: чем большую продолжительность простоев вследствие неблагоприятных погодных условий (туманов) допускает заказчик, тем протяженнее будет канал связи.

ЛЕКЦИЯ 7.

Бытовые применения лазерных систем. Лазерные шоу. Реклама и СМИ. (2ч)

ПЛАН ЛЕКЦИИ.

1. Лазерный принтер.
2. Сканер.
3. Лазерный проектор

1. Лазерный принтер — один из видов принтеров, позволяющий быстро изготавливать высококачественные отпечатки текста и графики на обычной (не специальной) бумаге. Подобно фотокопировальным аппаратам лазерные принтеры используют в работе процесс ксерографической печати, однако отличие состоит в том, что формирование изображения происходит путём непосредственной экспозиции (освещения) лазерным лучом фоточувствительных элементов принтера. Отпечатки, сделанные таким способом, не боятся влаги, устойчивы к истиранию и выцветанию. Качество такого изображения очень высокое.

На рис.1 показана блок-схема системы формирования изображения.

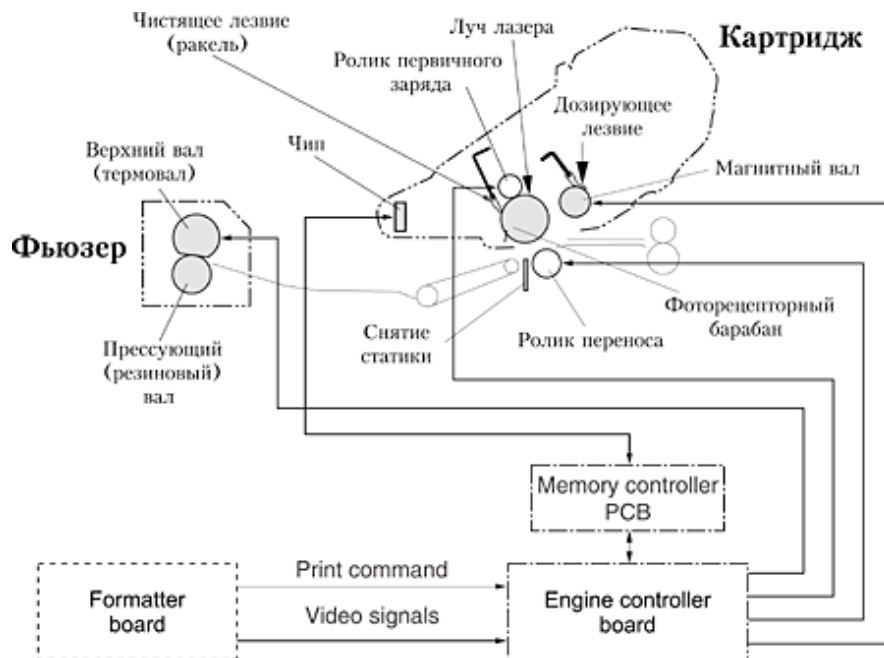


Рис. 1.

Процесс формирования изображения можно разбить на 6 этапов :

- заряд;
- экспонирование;
- проявка;

- перенос;
- очистка;
- закрепление.

Заряд. На ролик первичного заряда (см. рис.2), на который подается напряжение смещения переменного и постоянного тока. Напряжение смещения переменного тока через ролик первичного заряда поступает на поверхность фоторецепторного барабана, тем самым стираются остаточный заряд, и, наносится равномерный отрицательный потенциал. При помощи напряжение смещения постоянного тока регулируется оптическая плотность изображения.

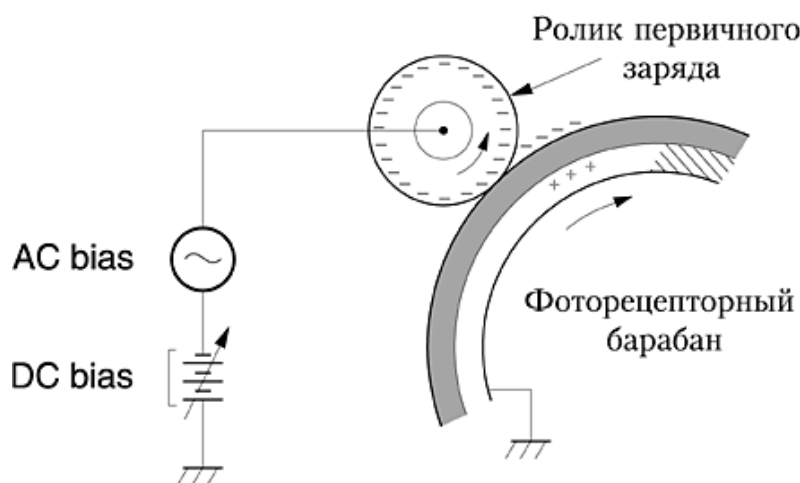


Рис. 2.

Следует заметить, что процесс формирования изображения у различных производителей отличается, полярность первичного заряда, а следовательно и дальнейших, может быть противоположной.

Экспонирование. Луч с узла лазера проецируется на шестигранное сканирующее зеркало, и, отражаясь от зеркала проходит через фокусирующую систему линз. Затем луч отражается от отражающего зеркала и через щель в картридже попадает на фоторецепторный барабан (рис.3).

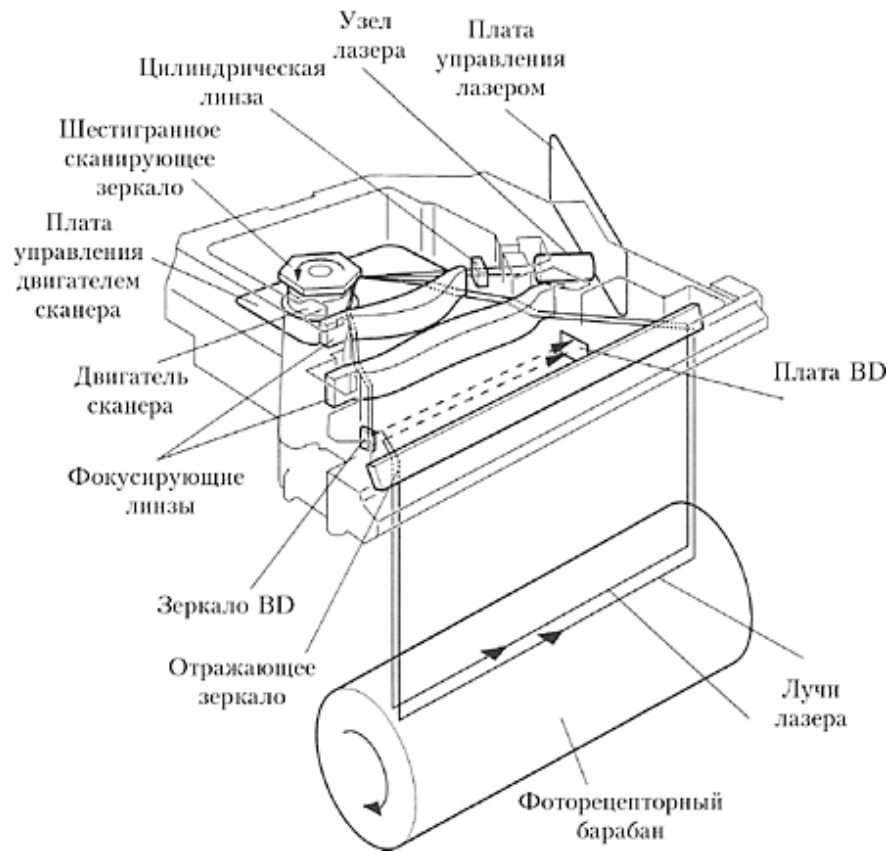


Рис. 3.

Фоторецепторный барабан (рис.4), представляет из себя алюминиевый цилиндр с нанесенным органическим фоточувствительным покрытием. Органическое покрытие барабана становится токопроводящим под воздействием света. Участки фоторецепторного барабана, на которые попадает луч лазера (или светодиодной матрицы) становятся проводящими, и, отрицательный заряд с этих участков стекает через алюминиевое основание барабана на землю (в зависимости от степени освещенности). Лучи лазера перемещаются по поверхности фоторецепторного барабана слева направо. Таким образом, на поверхности фоторецепторного барабана формируется скрытое электростатическое изображение.

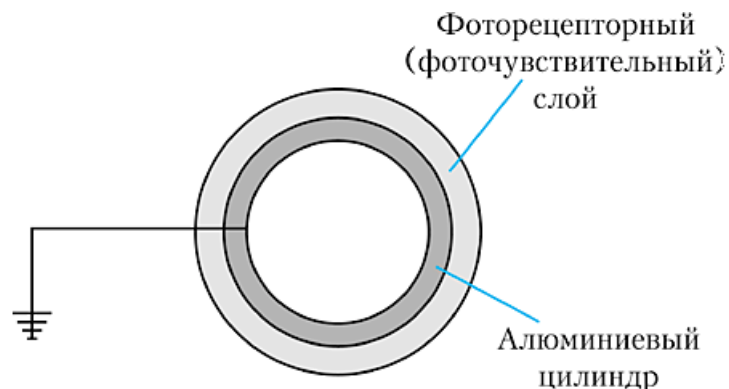


Рис. 4.

Проявка. В процессе проявки скрытое электростатическое изображение преобразуется в видимое. Основным узлом блока проявки является вал проявки (магнитный вал). Он представляет из себя металлический цилиндр, вращающийся вокруг фиксированного магнитного сердечника (рис. 5).

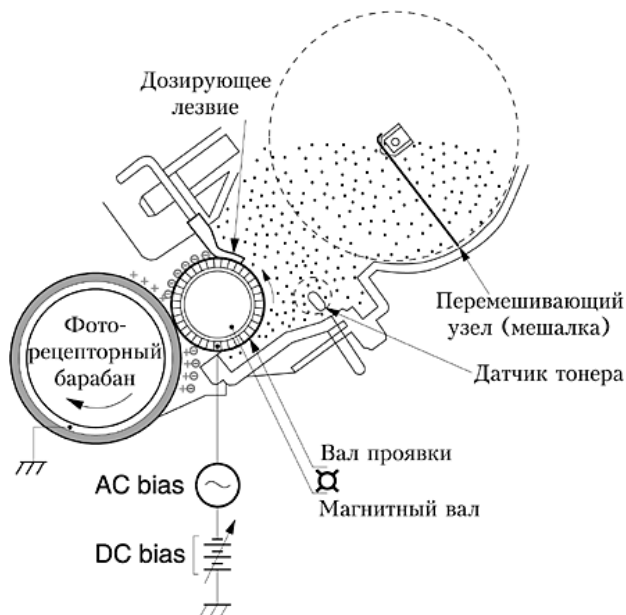


Рис. 5.

На вал проявки подается отрицательное напряжение смещения переменного и постоянного тока. Благодаря поданному напряжению смещения постоянного тока частицы тонера на поверхности вала проявки приобретают отрицательный потенциал и переносятся на засвеченные лазерным лучом участки фоторецепторного барабана. Напряжение смещения переменного тока подается чтобы уменьшить притяжение тонера магнитным сердечником вала проявки и в тоже время уменьшить перенос частиц тонера на участки фоторецепторного барабана, не подвергнутые засветке лучом. Регулировкой напряжения смещения АС достигается необходимая плотность и контрастность изображения.

Перенос

На этапе переноса (рис.6) , сформированное частицами тонера изображение, переносится с фоторецепторного барабана на бумагу. Ролик перенос передает бумаге положительный заряд, благодаря чему частицы тонера переносятся на бумагу. Небольшой (по сравнению с длиной бумаги) диаметр фоторецепторного барабана и гребенка снятия статического заряда с бумаги не позволяет бумаге прилипнуть к поверхности барабана.

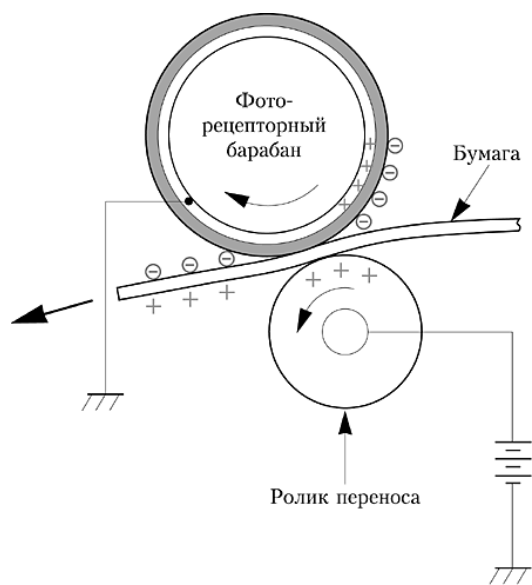


Рис. 6.

Очистка. При помощи чистящего лезвия (рис.7), находящегося в непосредственном контакте с фоторецепторным барабаном, остатки тонера счищаются в бункер отходов.

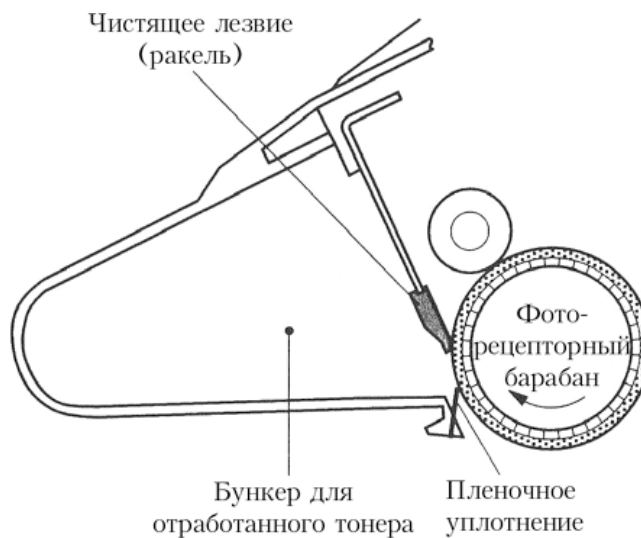


Рис. 7.

Закрепление. На этапе закрепления изображение фиксируется на бумаге (рис.8). Бумага проходит между роликом закрепления (внутри которого находится термоэлемент, нагревающий ролик до определенной температуры) и прессующим (резиновым) роликом. Под воздействием температуры и механического воздействия прессующего ролика тонер вплавляется в бумагу. Температура ролика закрепления контролируется термодатчиком.

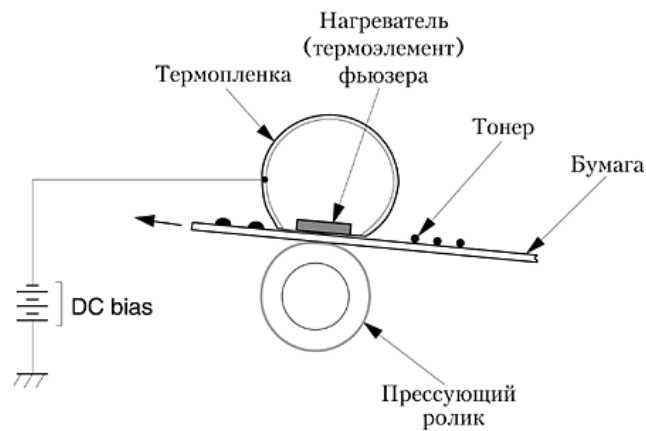


Рис. 8.

Существует три способа переноса тонера:

двухкомпонентный (система с двумя компонентами проявления — с отдельным тонером и девелопером) — красящие частицы, предназначенные для переноса на фотобарабан, не могут самостоятельно удерживаться на магнитном валу блока проявки, но прилипают к частицам специального магнитного порошка носителя (девелопера), которые при перемешивании заряжаются из-за взаимного трения.

двухкомпонентный, где тонер и девелопер уже смешаны заранее в заводском картридже.

однокомпонентный (напр., в современных принтерах Samsung и XEROX) — только тонер без каких-либо примесей, красящие частицы которого сами по себе обладают магнитными свойствами

В двухкомпонентной системе девелопер остается на магнитном валу блока проявки и продолжает служить дальше (тонер, естественно, расходуется). В технических описаниях многих аппаратов производители заявляют, что девелопер вообще не требует восполнения, однако на практике его рабочие характеристики со временем ухудшаются, что сказывается на качестве копий.

2. Трёхмерный лазерный сканер — это особое изобретение нового поколения, позволяющее получить 3d модель любого предмета на основе данных, полученных после анализа данного объекта. В основе работы 3d сканеров - важный элемент конструкции под названием лазерный дальномер, проецирующий лазерный луч на сканируемый объект. При этом специальная оптическая камера отслеживает местоположение лазерного луча и отображает абсолютно все искажения формы объекта. После процесса 3d сканирования все необходимые данные о строении и форме изучаемого объекта поступают в компьютер, где уже происходит анализ полученных данных и построение точной компьютерной модели объекта. Трёхмерные

сканеры бывают контактные и неконтактные. Неконтактные лазерные сканеры можно считать наиболее удобными в использовании и эффективными, так как для получения высокоточных данных об объекте не требуется непосредственного контакта оборудования с поверхностью предмета. Неконтактные трёхмерные сканеры делятся в свою очередь на активные и пассивные сканеры. Активные 3d сканеры направляют лучи лазера непосредственно на объект, после чего анализируют полученные методом отражения данные. Пассивные же сканеры выводят данные о модели с помощью анализа имеющегося окружающего излучения, но при этом освещение сканируемого объекта должно быть точно и идеально подобрано. Активный бесконтактный трёхмерный лазерный сканер по сравнению с остальными способен решить одновременно множество задач, при этом не требуя специально оснащённого помещения и профессионального освещения предмета, кроме того, не происходит физического контакта устройства непосредственно с поверхностью сканируемого предмета. Принцип работы трёхмерного лазерного сканера основан на выявлении достаточного количества точек – трёхмерных координат по осям X, Y, и Z. Измерение размеров и особенностей геометрии объекта совершается с помощью дальномера. Дальномер совершает до нескольких сотен и тысяч измерений в секунду, запоминая и отправляя данные по каждому измерению. Луч лазера отклоняется по вертикали при помощи шагового электромотора с зеркалом, по горизонтали же отклонение происходит при вращении самого сканера. Таким образом, становится возможным получение трёхмерных координат каждой точки. Полученные в процессе сканирования координаты точек образуют так называемые группы - «облака точек». В некоторые трёхмерные лазерные сканеры встроена цифровая фотокамера, позволяющая сделать панорамные снимки окружения предмета, причём при сканировании отображаться будут только нужные фрагменты и детали. Все данные об измерениях, а так же снимки переходят в портативный компьютер, данные и поверхность сканируемой детали запоминаются, анализируются и выводятся на экран в виде трёхмерного изображения. С помощью компьютера можно управлять процессом сканирования, выбирать разрешение и необходимые области для уточнения детализации, сохранять и изменять полученные с помощью трёхмерного лазерного сканера данные. Для уточнения данных и объединения облаков точек нередко используются специальные светоотражающие марки, закрепляющиеся рядом с объектом сканирования или непосредственно на нём в определённых точках. После сбора данных отмечается нужная для итогового результата информация, в зависимости от того, что необходимо получить в итоге – чертёж, трёхмерную модель, прототип всего объекта или же его части. Для получения итога в качестве изображения используется специальное программное обеспечение, в том числе 3d

монитор, а для вывода физической модели-прототипа будет использоваться 3d принтер.

3. Проектор — оптический прибор, предназначенный для создания действительного изображения плоского предмета небольшого размера на большом экране. Появление проекционных аппаратов обусловило возникновение кинематографа, относящегося к проекционному искусству. Лазерный проектор — выводит изображение с помощью луча лазера.

В основе принципа действия лазерного проектора лежит возможность проецировать изображение с экрана компьютера, DVD-устройства или даже телефона, с помощью лазерного луча видимого диапазона, на любую плоскую поверхность: экран, сетку, стену здания, снег, водную гладь и даже дым. Широко применяются лазерные проекторы как в рекламных целях, для проецирования логотипов и надписей, так и в шоу бизнесе, обеспечивая неповторимые лазерные представления. Особенность луча лазера не рассеиваться, позволяет, используя лазерный проектор, получить изображение высочайшей контрастности, независимо от вида поверхности. Поскольку у него нет необходимости в фокусировке, лазерный проектор не содержит объектива, а его оптическая система, по сути, предназначена для того, чтоб изменять угол отклонения луча. Яркость изображения зависит только от мощности излучателя, однако при формировании сложных подвижных картинок и анимации важную роль играет скорость развертки проекционной системы.

Список литературы

а) основная литература:

1. Лазеры. Лазерные системы / Г. И. Долгих, В. Е. Привалов – Издательство: Дальнаука, 2009. - 204 с.
2. Четырнадцать лекций о лазерах/ Л. В. Тарасов – Издательство: Либроком, 2011.-176с.
3. Лазеры. Исполнение, управление, применение. / Ю. Айхлер, Г. И. Айхлер - Издательство: Техносфера, 2011. – 496 с.
4. Принципы лазеров. Учебное пособие./ О. Звелто - Издательство: Лань, 2008. – 592с.

б) Рекомендуемая литература (дополнительная):

1. Лекционный курс "Физика лазеров". Часть 1. Основные свойства активных сред лазеров / А. Т. Реутов - Издательство: Издательство Российского Университета дружбы народов, 2006 г. – 56с.
2. Терапия матричными импульсными лазерами красного спектра излучения/ С. В. Москвин, А. Н. Наседкин и др. - Издательство: Триада, 2007. – 112с.
3. Физика лазера / Л. В. Тарасов - Издательство: Либроком, 2011. – 456 с.
4. История лазера /М. Бертолотти. - Издательство: Интеллект, 2011. – 344с.
5. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях/ В.В. Тучин - Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 500с.
6. Введение в квантовую физику. Учебное пособие./ А.Н. Паршаков - Издательство: Лань, 2010. – 352с.
7. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. пособие: для ВУЗов.–М.: ФИЗМАЛИТ, 2010.-846с.

В заключении курса надо отметить, что все рассмотренные вопросы дают общие представления о лазерах и их применениях. Для студентов первого года обучения данная информация предназначена для ознакомления и формирования интереса к данной области. Знания, полученные при изучении данной учебной дисциплины будут дополнены в рамках старших курсов: расширение и углубление знаний студентов при изучении основ физики и техники лазеров, ознакомление с современным состоянием и перспективами развития лазерной физики и техники, получение практических навыков при работе с лазерами и при исследовании характеристик и распространения лазерного излучения. Также, глубже будут описаны теоретические выкладки всех процессов, сопутствующие технологические лазерные операции.

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Методические рекомендации по самостоятельному изучению дисциплины представляют собой комплекс рекомендаций и разъяснений, позволяющий студенту оптимальным образом организовать процесс изучения данной дисциплины. При разработке рекомендаций учитывался тот факт, что часть курса, согласно учебному плану направления, изучается студентом самостоятельно. Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на лабораторных занятиях при подготовке к занятиям и оформлении отчета непосредственно по заданию преподавателя, опираясь на методические рекомендации к лабораторным работам.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию, выданному преподавателем при подготовке рефератов и углубленного изучению дисциплины по теме пройденной лекции. Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, рекомендованной литературы, активное участие на занятиях.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала дисциплины «Введение в специальность» дифференцировано по каждой теме курса:

Тема 1.1. Основные элементы лазера и их роль. Параметры и характеристики лазерного излучения. Режимы работы лазеров.

Основные вопросы темы: LASER – это... Принцип работы лазеров. Основные элементы лазерных систем и их роль. Режимы работы лазеров: непрерывный режим, импульсный режим.

Цель и задачи изучения темы состоит в теоретическом ознакомлении студента с основными элементами лазера и их взаимосвязи для достижения лазерной генерации, а также изучения характеристик излучения, характерных для каждого режима работы.

Основной понятийно–терминологический аппарат: активная среда, поглощение, спонтанное излучение, вынужденное излучение, система накачки, резонатор, непрерывный и импульсный режим работы лазера, энергетические параметры излучения: энергия, средняя и импульсная мощность, интенсивность излучения, характеристика излучения: длина волны/частота излучения, период, длительность импульса, частота следования импульсов.

Требования к уровню подготовленности студента – студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым дать сравнительную оценку энергетических параметров для лазеров, работающих в разных

режимах.

Тема 1.2. Краткий исторический очерк. Классификация и типы лазеров.

Основные вопросы темы: История создания лазеров. Мазеры. Достижения Басова и Прохорова. Таунс и лазеры. Классификация лазеров: по рабочей среде, по частоте излучения, по выходной мощности.

Цель и задачи изучения темы – необходимо проследить эволюцию создания лазерной техники, ознакомиться с техническими сложностями при создании лазера и найденными решениями, а также изучить многообразие мира лазерной техники в зависимости от активной среды, получаемых частоты и энергии генерации.

Основной понятийно–терминологический аппарат: мазер, 1960 – создание первого лазера, твердотельные лазеры, газовые лазеры, жидкостные лазеры, видимый, УФ, ИК диапазоны, низко-, средне-, высокоэнергетическое лазерное воздействие.

Требования к уровню подготовленности студента – студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым приводить примеры по изученной классификации лазеров и соотносить лазерное излучение с частотным/длинноволновым диапазонами.

Тема 2.1. Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Яркость. Поляризованность.

Преимущества лазера как источника излучения, вытекающие из его свойств излучения.

Основные вопросы темы: Монохроматичность. Когерентность. Направленность. Яркость.

Поляризованность. Преимущества лазера как источника излучения, вытекающие из его свойств излучения.

Цель и задачи изучения темы состоит в теоретическом изучении уникальных свойств лазерного излучения и в практической части получения основных явлений, связанных с интерференцией, дифракцией и поляризацией лазерного излучения.

Основной понятийно–терминологический аппарат: монохроматичность, время когерентности, длина когерентности, временная и пространственная когерентность, расходимость излучения, естественная, круговая, линейная поляризация, частично поляризованный свет.

В процессе самостоятельной работы над этой темой студентам необходимо изучить подраздел оптики в виде методов наблюдения интерференции солнечного света, способов наблюдения дифракции и тп.

Требования к уровню подготовленности студента студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым на

основе изученных понятий объяснять физические явления.

Тема 3.1. Лазеры в медицине: диагностика, терапия, хирургия.

Основные вопросы темы: Связь проникающей способности излучения и длины волны лазера. Лазерная диагностика. ЛАКК. Терапевтические лазеры. Лазеры в хирургии.

Цель и задачи изучения темы состоят в ознакомлении применений лазерного излучения в медицинских целях, их преимуществ по отношению к традиционным методам, связь параметров и свойств лазерного излучения для отдельных отраслей медицины.

Основной понятийно–терминологический аппарат: невозмущающее и фотохимическое действия лазерного излучения, фоторазрушение, гемостаз, зависимость поглощения света биобъектом от длины волны падающего излучения, рассеяние света биобъектами, лазерная доплеровская флоуметрия, лазерная терапия и светолечение, лазерная хирургия и ее особенности по сравнению с традиционными методами.

Требования к уровню подготовленности студента - студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым по техническим параметрам лазера (длина волны и интенсивность излучения) предположить области медицинского использования: лазерная диагностика, терапия, хирургия.

Тема 3.2. Технологические лазерные операции. Лазеры в промышленности.

Основные вопросы темы: Лазерная резка материалов. Лазерная сварка/лазерная пайка. Особенности и применения. Лазерное сверление отверстий. Лазерная маркировка и гравировка изделий. Лазерное термоупрочнение. Термоупрочняемые материалы. Лазерное легирование. Вакуумно-лазерное напыление. Лазерная стереолитография. Лазерное скрайбирование.

Цель и задачи изучения темы состоят в ознакомлении студентов с основными технологическими лазерными операциями, применяемыми как в промышленном производстве, так и единичном/частном использовании, преимуществ лазерных операций и ограничений в промышленном использовании.

Основной понятийно–терминологический аппарат: операция “резка”, особенности лазерной резки, технологическая операция “сварка”, особенности лазерной сварки, области применения лазерной пайки, лазерное сверление глубоких отверстий, области применения и используемое лазерное излучение, лазерная маркировка и ее реализация, абляция и испарение, физический процесс термоупрочнения, лазерное поверхностное термоупрочнения, термоупрочняемые материалы, лазерное легирование и наплавка, лазерное напыление тонких пленок и покрытий, возгонка материала, лазерное скрайбирование и его применения, лазерная стереолитография и создание трехмерных прототипов, полимеризация, УФ излучение.

Требования к уровню подготовленности студента - студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым по техническим параметрам лазера (длина волны, режим работы, интенсивность излучения и тп.) предложить техническое использование данного лазерного излучения.

Тема 3.3. Лазеры в науке. Лазерная связь. Космос и военные применения лазеров

Основные вопросы темы: Лазерная локация космических объектов. Применение лазеров в измерительной технике: лазерные дальномеры, лазерный гироскоп, измерение времени, давления, температуры, скоростей потоков жидкостей и газов, концентраций веществ, оптических параметров и т.п. Лазерная термохимия. Лазерный термоядерный синтез. Лазерные применения в военных целях: средства наведения, прицеливания, боевые системы и т.п. Лазерная связь.

Цель и задачи изучения темы состоят в освоении студентами высокотехнологичных возможностей использования лазерного излучения, расширение своей компетенции в области физики.

Основной понятийно–терминологический аппарат: оптическая локация, преимущества перед радиолокаторами и их особенности, дальномеры импульсные и фазовые, лазерный гироскоп, фотоактивация молекул, лазерная термохимия, лазерный термоядерный синтез и разделение изотопов, лазерные целеуказатели, связь посредством ИК излучения, волоконно-оптические системы связи.

Требования к уровню подготовленности студента - студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым по назначению/применению предложить лазеры, подходящие для данного типа использования.

Тема 3.4. Бытовые применения лазерных систем. Лазерные шоу. Реклама и СМИ.

Основные вопросы темы: Лазерный принтер. Сканер. Лазерный проектор.

Цель и задачи изучения темы состоят в изучении принципов работы широко распространенных устройств лазерной печати, сканирования и представлении информации.

Основной понятийно–терминологический аппарат: экспозиция, этапы формирования изображения, заряженная поверхность, фоточувствительное покрытие, трехмерный сканер, лазерный дальномер, оптический проектор.

Требования к уровню подготовленности студента - студент должен ориентироваться в основных вопросах/понятиях темы, понимать логические связи между ними, быть готовым описать технические характеристики лазерного излучения, подходящие для данного типа использования.

Контрольные вопросы для самопроверки знаний студента, с целью оперативной оценки подготовленности студента по данной дисциплине:

1. Принцип работы лазера;
2. Режимы работы лазера;
3. Классификация лазерных систем по активной среде;
4. Характеристики лазерного излучения;
5. Активная среда и её роль;
6. Назначение резонатора в лазерных системах;
7. Инверсия населенности и система накачки;
8. Монохроматичность лазерного излучения;
9. Когерентность лазерного излучения;
10. Направленность лазерного излучения;
11. Поляризованность лазерного излучения;
12. Применения лазерных источников;
13. Техника безопасности при работе с лазерами;
14. Предпосылки создания лазера;
15. Первые квантовые генераторы. Мазер, лазер, разер, газер;
16. Основные технологические операции, выполняемые лазером в промышленности;
17. Рабочие длины волн технологических лазеров;
18. Свойства лазерного излучения, применяемого в медицинских целях;
19. Общие представления о генерации гармоник лазерного излучения;
20. Самые мощные лазеры. Научная задача и ее реализация;
21. Материалы для активных сред в лазерных системах;
22. Оптические элементы: призмы, оптические фильтры, объективы, линзы, дифракционные решетки и т.п.;
23. Способы получения свойств лазера (монохроматичность, когерентность, поляризованность) от обычных источников излучения;
24. Основные процессы, происходящие при взаимодействии лазерного излучения с веществом;
25. Энергетические характеристики излучения;
26. Система маркировки безопасности лазеров.

В рабочей программе дисциплины «Введение в специальность» предусмотрено написание рефератов в качестве внеаудиторной самостоятельной работы студентов. Для этой цели каждому студенту были предложены индивидуальные темы-направления работы по более глубокому изучению вопросов лазерного использования в промышленности, науки и быту. Для успешной учебной деятельности необходимо наличие прочной системы физико-математических знаний, необходимой для усвоения основных вузовских курсов. Поэтому, при наличии пробелов в знаниях школьного программного материала, затрудняющие усвоение нового материала, необходимо самостоятельное ознакомление с данными вопросами. Затратив силы на преодоление этих пробелов, студент обеспечит себе нормальную успеваемость и поверит в свои способности.

Темы рефератов:

1. Лазерная резка материалов. Достоинства и недостатки метода.
2. Лазерная сварка/лазерная пайка. Особенности и применения.
3. Лазерное сверление отверстий.
4. Лазерная маркировка и гравировка изделий.
5. Лазерное термоупрочнение. Термоупрочняемые материалы.
6. Лазерное легирование.
7. Вакуумно-лазерное напыление.
8. Лазерная стереолитография.
9. Лазерное скрайбирование.
10. Лазерная голография.
11. Лазерная спектроскопия.
12. Лазерная локация космических объектов.
13. Применение лазеров в измерительной технике: лазерные дальномеры, лазерный гироскоп, измерение времени, давления, температуры, скоростей потоков жидкостей и газов, концентраций веществ, оптических параметров и т.п.
14. Лазерная термохимия.
15. Лазерный термоядерный синтез.
16. Лазерные применения в военных целях: средства наведения, прицеливания, боевые системы и т.п.
17. Лазерная связь.
18. Лазерная косметология и стоматология.
19. Лазерные диагностические методы состояния организма.

20. Лазерная хирургия.

21. Лазеры в офтальмологии: лазерная коррекция зрения, лечение отслоения сетчатки глаза, катаракты и т.п.

22. Лазеры в быту: лазерный принтер, сканер, лазерный проектор и т.п.

При написании реферата необходимо разобраться сначала, какова истинная цель Вашего научного текста - это поможет Вам разумно распределить свои силы, время и кто будет «читателем» Вашей работы. Писать серьезные работы следует тогда, когда есть о чем писать и когда есть настроение поделиться своими рассуждениями.

Как создать у себя подходящее творческое настроение для работы над научным текстом (как найти «вдохновение»)? Во-первых, должна быть идея, а для этого нужно научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея – как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея – как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, важно уметь отвлекаться от окружающей суеты (многие талантливые люди просто «пропадают» в этой суете), для чего важно уметь выделять важнейшие приоритеты в своей учебно-исследовательской деятельности. В-третьих, научиться организовывать свое время, ведь, как известно, свободное (от всяких глупостей) время – важнейшее условие настоящего творчества, для него наконец-то появляется время. Иногда именно на организацию такого времени уходит немалая часть сил и талантов.

Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой текст. Каждый раз надо представлять, что ваш текст будет кто-то читать и ему захочется сориентироваться в нем, быстро находить ответы на интересующие вопросы (заодно представьте себя на месте такого человека). Понятно, что работа, написанная «сплошным текстом» (без заголовков, без выделения крупным шрифтом наиболее важным мест и т. п.), у культурного читателя должна вызывать брезгливость и даже жалость к автору (исключения составляют некоторые древние тексты, когда и жанр был иной и к текстам относились иначе, да и самих текстов было гораздо меньше – не то, что в эпоху «информационного взрыва» и соответствующего «информационного мусора»).

В каждом реферате необходимо сделать упор на лазерные источники: описать какое излучение применяется; к какому диапазону относится (согласно пройденной классификации); если есть особенности, то почему?, с указанием активных элементов, видов накачки и

используемых резонаторов. Также, необходимо осветить преимущества и недостатки лазерных методов в сравнении с альтернативными или традиционными; проследить связь уникальных свойств лазерного излучения и преимуществ лазерных операций.

- Объем текста должен составлять 20-25 страниц машинописного текста Times New Roman 12 pt, написанным через 1,5 интервал согласно оформительским требованиям, принятым в ВлГУ.

Методические рекомендации для студентов по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Введение в специальность»

Лабораторная работа №1.

«Требования по обеспечении безопасности при работе с лазерными комплексами».

Цель выполнения лабораторной работы: изучение принципов работы лазера и ознакомление с техникой безопасности при работе технологическими лазерами.

Краткая теория вопроса:

Генерацию излучения в лазерах обеспечивают четыре основных элемента — активное вещество, оптический резонатор, источник возбуждения (накачки) и источник питания. Однако для получения эффекта лазерного излучения требуются дополнительные устройства и системы, обеспечивающие работоспособность генератора или предназначенные для управления излучением. К ним относят устройство для управления излучением, устройство для селекции типов колебаний, систему охлаждения активного вещества и оптического резонатора, систему модуляции излучения, внешнюю оптическую систему фокусирования луча и некоторые другие устройства.

Присутствие тех или иных элементов или всех сразу не является необходимым условием. Основным элементом, где зарождается генерация излучения, является активная среда, которая в большей степени определяет конструкцию лазера.

Под лазерной безопасностью понимается совокупность технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасные условия труда персонала при использовании лазерных установок. При этом учитываются требования:

- ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения;
- СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров.

В зависимости от конструкции и условий эксплуатации лазера на обслуживающий персонал могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы:

1. непосредственное лазерное излучение (прямое, отраженное, рассеянное);
2. световое излучение от импульсных ламп накачки и излучательной зоны взаимодействия лазерного излучения с материалами;
3. УФ излучение от ламп накачки или кварцевых газоразрядных трубок;
4. Шум и вибрации, которые возникают при работе лазера;
5. Ионизирующее излучение;
6. Высокое напряжение при питании ламп накачки;

7. Электромагнитное поле ВЧ или СВЧ диапазонов от генераторов накачки;
8. ИК и тепловыделение от нагретого оборудования;
9. Запыленность и загазованность в рабочей зоне;
10. Агрессивные и токсичные вещества, испаряемые материалами конструкции.

Все перечисленные факторы рассматриваются в нормативных документах, регламентирующих правила безопасности и санитарные нормы при работе с общепромышленным оборудованием.

Биологические эффекты воздействия лазерного излучения на организм (глаза, кожа) зависят от энергетической экспозиции облучения, длины волны, времени воздействия и площади облучения, от частоты повторений и длительности импульсов. Для классификации лазеров с расширяющимся пучком наряду с указанными выше параметрами необходимо знание энергии излучения и максимума угла, на который направление взгляда отклоняется от полного, прямого заглядывания в луч. Эти эффекты обусловлены 3 видами механизмов воздействия:

1. Тепловые эффекты – наиболее значительные эффекты поражения: от простой эритемы до “сваривания” пораженной ткани с остановкой кровотечения вследствие поражения сосудов.
2. Термоакустические эффекты – высокая удельная энергия и мощность приводят к “свариванию” ткани и образованию пара, который разрывает клетки или в замкнутом пространстве (глаз, череп) вызывает ударные волны и взрывные выбросы.
3. Фотохимические эффекты – при малой плотности энергии или мощности появляются функциональные изменения обменных процессов клетки, которые могут как способствовать нормализации процессов клетки, так и вызывать отклонения от нормы вплоть до генетических изменений.

Наиболее поражаемая часть организма человека – глаза. Опасно как излучение видимого, ближнего ИК. Также излучение иных частот может привести к поражению роговой оболочки, хрусталика, стекловидного тела или сетчатки. Первые три повреждения устранимы, а повреждение сетчатки часто необратимы. Хрусталик увеличивает $E_{уд}$ в 10^5 - 10^6 на роговую оболочку.

Кожа по сравнению с органами зрения менее подвержена облучению, но случается существенно чаще. Поражение зависит не только от энергетических характеристик и времени облучения, площади поверхности, его кровоснабжения и пигментации. Например, минимальная реакция кожи на излучение лазера на рубине составляет:

$E=10-20 \text{ Дж/см}^2$ - при светлой коже;

$E=2,2 \text{ Дж/см}^2$ - при пигментированной коже.

За предельно допустимые уровни облучения принимается энергетическая экспозиция облучаемой ткани:

Диапазон/Параметры	λ	τ	Пду: $E_{уд}$
УФ	0,2-0,4 мкм	10^{-2} - 10^3 с	10^{-2} -1 Дж/см ²
Видимый	0,4-0,75 мкм	1- 10^4 с	10^{-2} Дж/см ²
ИК	9-20 мкм	10^3 с	10^{-2} Дж/см ²

Установлены следующие классы лазеров по степени опасности генерируемого ими излучения: **Класс 1** – лазерные приборы без опасности. К этому классу лазеров относятся лазеры, излучение которых не вызывает повреждений, потому что их мощность или энергия за рассматриваемый для классификации промежуток времени ниже пороговых значений (значения, при которых еще не наступает поражение организма обозначаются как R_{exempt} или Q_{exempt}). Под промежуток времени, рассматриваемым в классификации и регламентируемым промежуток времени, следует понимать самое продолжительное время воздействия лазерного излучения на человека в течение рабочего дня.

R_{exempt} и Q_{exempt} определяются с точки зрения предотвращения поражения при рассмотрении наиболее неблагоприятного случая. При этом следует учитывать, используется лазер с расширенным пучком или нет. Для большинства лазеров R_{exempt} и Q_{exempt} определяются при данных условиях с помощью примерного расчета в виде произведения ab , причем a – предельное значение для дозы прямого облучения глаза за время облучения t_{max} , b – площадь предельного отверстия, определенная для предельного значения. Однако освобождение таких лазеров без риска от дозиметрического контроля относится только к специфической лазерной опасности, но не к другим опасностям, связанным с эксплуатацией лазера.

Класс 2 – лазерные приборы с малой опасностью. К этому классу лазеров (Low-risk-классу) относятся лазеры с малой мощностью, которые работают в видимой области спектра. У этих лазеров возможно прямое попадание луча в глаз при очень тщательном соблюдении контролируемых условий экспонирования. К ним относятся:

- а) непрерывные лазеры (400-700 нм), излучаемая мощность которых превышает R_{exempt} для регламентируемого промежутка (0,4 мВт для $t_{max} > 0,25$ с), но не больше 1 мВт;
- б) сканирующие лазерные системы (400-700 нм) и импульсно-периодические лазеры, которые хотя и могут превышать соответствующее значение R_{exempt} для регламентируемого

промежутка, но не значение для времени облучения 0,25 с.

Класс 3 – лазерные устройства с умеренной опасностью. Этот класс лазеров (Moderate-risk-класс) охватывает лазеры средней мощности, у которых не разрешается прямое заглядывание в луч лазера. К ним относятся следующие типы лазеров:

а) лазеры ИК- (1,4 мкм – 1 мм) и УФ-диапазонов (200-400 нм), мощность которых для регламентируемого промежутка хотя и превышает P_{exempt} , но не среднюю мощность 0,5 Вт при $t_{max} > 0,25$ с или значение дозы облучения 10 Дж/см² при $t_{max} < 0,25$ с;

б) непрерывные лазеры или импульсно-периодические лазеры в видимом диапазоне (400-700 нм), у которых превышает P_{exempt} для $t_{max} = 0,25$ с (1 мВт для непрерывных лазеров, которые, однако, не могут излучать среднюю мощность 0,5 Вт при $t_{max} > 0,25$ с);

в) импульсные лазеры в ближнем ИК-диапазоине (700-1400 нм), генерируемая энергия которых больше Q_{exempt} и меньше 10 Дж/см² или у которых следует считаться с появлением диффузного отражения излучения, лежащего выше предельных значений и поэтому опасного для организма человека;

г) непрерывные лазеры и импульсно-периодические лазеры, работающие в ближнем ИК-диапазоне (700-1400 нм), мощность которых больше P_{exempt} для регламентируемого промежутка, но которые не могут генерировать среднюю мощность более 0,5 Вт при $t_{max} > 0,25$ с.

Класс 4 – лазерные устройства с повышенной опасностью. Этот класс лазеров (High-risk-класс) охватывает мощные лазеры, прямой, а также зеркально или дуффузно отраженный луч которых представляет значительную опасность как для глаз, так и для кожи. К ним относятся следующие типы лазеров:

а) лазеры УФ-(200-400 нм) и дальнего ИК-диапазонов (1,4 мкм – 1 мм), у которых для $t_{max} > 0,25$ с средняя мощность превышает 0,5 Вт или значение дозы облучения 10 Дж/см² при $t_{max} < 0,25$ с;

б) лазеры видимого (400-700 нм) И ближнего ИК-диапазонов (700-1400 нм) со средней мощностью более 0,5 Вт при $t_{max} > 0,25$ с или дозой облучения более 10 Дж/см²; к таким лазерам также относят лазеры, у которых во время их работы могут возникать диффузные отражения излучения, превышающие предельные значения.

Технологическое оборудование, на котором осуществляется лазерная резка металла, наплавка, термообработка и т.п., относится к лазерным устройствам с повышенной опасностью.

Вообще, следует обращать внимание на то, что разделение снабженных экранирующими устройствами лазеров на классы только



тогда оправдано, если они эксплуатируются с этими защитными средствами. Если это не имеет места, то лазер относится к более высокому классу по степени опасности.

Лазерные устройства, которые могут работать на нескольких длинах волн, классифицируются по длинам волн, на которых можно ожидать наибольшую опасность.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с техникой безопасности при работе с лазерными комплексами.
2. Из вариантов индивидуальных заданий в тетради для лабораторных работ выполнить задание, которое соответствует списочному номеру фамилии в группе.
3. Оформить отчет по лабораторной работе в тетради.
4. Защитить лабораторную работу на последующем занятии. Быть готовым отвечать на контрольные вопросы.

Варианты индивидуальных или групповых заданий.

Необходимо указать класс опасности лазерной установки, на основании технических характеристик данного прибора (заполнить таб. №2) и описать средства необходимой защиты при работе с ней.

п/п	Лазерная установка	п/п	Лазерная установка
1.	Лазерная машина для гравировки и резки RABBIT Flat Bed 2616	8.	Химический лазер на молекулах фторида водорода или фторида дейтерия (HF/DF-НХЛ)
2.	Лазерный хирургический диодный аппарат ДИОЛАН-980-10	9.	Фемтосекундный волоконный лазер EFO-80/10
3.	Эксимерный лазер CL-7000k	10.	Оборудование для лазерной резки металла Mazak Space Gear-U44
4.	Твердотельный лазер с диодной накачкой DPSSL-50	11.	Лазер на парах Cu: "KULON-15CU-M"
5.	Nd:YAG лазер TL-400	12.	Лазерный медицинский прибор Ланцет -2
6.	СО ₂ лазер ИнфраЛайт-100	13.	Хирургический лазер "ЛАХТА-МИЛОН"
7.	Фемтосекундный лазер на титан-сапфире TiF-100	14.	Лазер на парах золота "KULON-1,5 AU"

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист, оформленный по правилам ВлГУ;
- цель работы;
- задание на лабораторную работу;
- краткая теоритическая часть, описанная для данного класса опасности прибора;
- указать технические данные лазера, на основе которых был определен класс опасности

прибора, а также описать сопутствующие опасные и вредные факторы при работе с ним.

Таб.№2

Характеристики лазерной системы «...»	Значение
Длина волны излучения, нм	
Режим работы	
Средняя мощность, Вт	
Доза облучения, Дж/см ²	
Охлаждение	
Накачка	
Особенности (токсичные, агрессивные в-ва)	

- в выходах указать средства необходимой защиты, предусмотренной для данного класса.

Контрольные вопросы.

1. Требования безопасности перед началом работ с лазерным оборудованием.
2. Требования безопасности во время работ лазерным оборудованием.
3. Требования безопасности по окончании работ с лазерным оборудованием.
4. Требование к производственному помещению для лазеров 4-го класса опасности.

Список литературы.

- ГОСТ 12.1.040-83 ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения;
- СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров.

<http://base.safework.ru/safework?doc&nd=444400009&nh=0&ssect=0>

Лабораторная работа №2.

«Определение длины волны лазерного излучения».

Цель выполнения лабораторной работы: экспериментально изучить явления интерференции, дифракции и определить длину волны лазерного излучения.

Краткая теория вопроса:

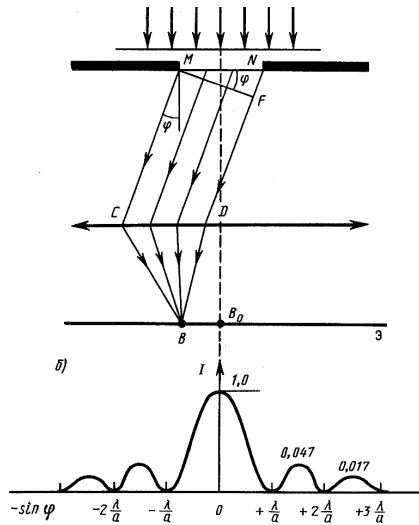
По современным представлениям свет – это сложный электромагнитный процесс переменный во времени и в пространстве, обладающий одновременно как волновыми, так и квантовыми свойствами. В явлениях дифракции и интерференции проявляются волновые свойства света. Явление интерференции состоит в том, что при наложении когерентных световых волн происходит перераспределение светового потока в пространстве, в результате чего в определенных местах на экране возникают максимумы интенсивности, разделенные минимумами.

Предположим, что две монохроматические световые волны, накладываясь друг на друга, возбуждают в определенной точке пространства колебания одинакового направления: $x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ и $x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$. По x понимают напряженность электрического E или магнитного H полей волны; векторы E и H колеблются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Напряженности электрического и магнитного полей подчиняются принципу суперпозиции. Амплитуда результирующего колебания в данной точке $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$. Так как волны когерентны, то $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ имеет постоянное во времени (но свое для каждой точки пространства) значение, поэтому интенсивность результирующей волны ($I \sim A^2$), т.е. $I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2I_1I_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$. В точках пространства, где $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) < 0$, интенсивность $I < I_1 + I_2$, где $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) > 0$, интенсивность $I > I_1 + I_2$. Следовательно, при наложении двух (или нескольких) когерентных световых волн происходит пространственное перераспределение светового потока, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других минимумы интенсивности. Для некогерентных волн разность $(\varphi_2 - \varphi_1)$ непрерывно изменяется, поэтому среднее во времени значение $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ равно нулю, и интенсивность результирующей волны всюду одинакова и при $I_1 = I_2$ равна $2I_1$ (для когерентных волн при данном условии в максимумах $I = 4I_1$, в минимумах $I = 0$).

Дифракционная картина, наблюдаемая при прохождении света через дифракционную решетку, определяется как результат взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей, т. е. в дифракционной решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света, идущих от всех щелей.

Если дифракционная решетка состоит из N щелей, то условием максимумов $d \sin \varphi =$

$\pm 2m \lambda/2 = \pm m \lambda$ ($m = 1, 2, 3, \dots$), а условием минимумов: $d \sin \varphi = \pm m \lambda/N$.



Чем больше щелей N , тем большее количество световой энергии пройдет через решетку, тем больше минимумов образуется между соседними главными максимумами, тем, следовательно, более интенсивными и более острыми будут максимумы.

Явление дифракции и интерференции хорошо наблюдается при прохождении белого света через дифракционную решетку с образованием ярких спектров. При пропускании лазерного излучения через дифракционную решетку можно наблюдать монохроматические максимумы интенсивности.

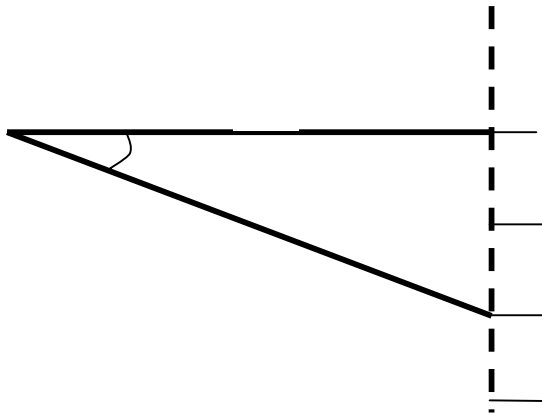
Лазерами называются приборы, которые позволяют получить усиление световой энергии с помощью вынужденного излучения. То есть, в этих приборах создаются такие условия, при которых можно заставить одновременно большое количество атомов перейти с более высокого (возбужденного) уровня на нижний (основной) с излучением квантов (вынужденное излучение).

Полупроводниковый инжекционный лазер на основе лазерного модуля KLM-650 предназначен для использования в качестве источника когерентного монохроматического излучения. Монохроматический, хорошо коллимированный и пространственно когерентный световой пучок, излучаемый лазером, дает возможность непосредственно наблюдать дифракцию света в параллельных лучах на круглых частицах.

Работа простейшего полупроводникового лазерного диода p - и r - типа. Полупроводники r - типа получают при добавлении в основное вещество, например, германий или кремний, примеси меньшей валентности индий; p - типа – большей валентности мышьяк. Причем концентрация примесей должна быть настолько велика, чтобы соответствующие уровни расщеплялись, перекрывались и тем самым могла создаваться инверсия населённости. Это означает, что при соответствующих условиях (например, при наложении внешнего напряжения) значительная часть электронов оказывается в возбужденном состоянии, затем они могут прорекомбинировать с дыркой с излучением кванта энергии.

Дифракционная решетка изготавливается на заводе путем нанесения определенного числа штрихов на 1 мм, например, $N = 1/d = 100\text{мм}^{-1}$, указывается на самой d решетке, d –

параметр дифракционной решетки. Дифракционная решетка позволяет разложить лазерный луч на большое число когерентных лучей, расходящихся под произвольными углами. Параллельные лучи интерферируют в бесконечности, образуя \max и \min на достаточно удаленном (по сравнению с параметром дифракционной решетки) экране. В тех направлениях, для которых в разность хода параллельных лучей укладывается четное число полуволн, наблюдаются максимумы.



Порядок выполнения работы:

1. Перед лазером на расстоянии L от экрана установить в штативе дифракционную решетку. На экране получить изображение нескольких дифракционных \max . Измерить расстояние L .
2. Когда на экране появились неперекрывающиеся дифракционные спектры в виде полос, измерения Δl_k заключаются в определении на экране расстояния между нулевым максимумом и максимумом порядка k ($k=3$ или 4 по указанию преподавателя). Для этого необходимо отметить на экране (приложив чистый лист бумаги) нулевой максимум и максимум порядка k и измерить линейкой расстояние Δl_k , выразив его в метрах.
3. Сделать не менее 6 измерений для трех различных значений L . Результаты измерений занести в табл. 1.
4. Из формулы дифракционной решетки $d \sin \varphi = k \lambda$ (1), где d - период решетки (на используемой решетке указано число штрихов на миллиметр, а не период!), для вычислений период перевести в м) и полагая, что при малых φ $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$ вычислить $\operatorname{tg} \varphi = \Delta l_k / L$, а затем длину волны по формуле (1).
5. Далее произвести расчеты абсолютной $\Delta \lambda$ и относительной погрешности с доверительной вероятностью 0,95. Все результаты записать в таблицу 1.
6. На основании проделанной работы сделать вывод. Результаты записать в виде:

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \pm \Delta\lambda_{\text{от}}$$

№ п/п	L, мм	k	Δl_k , мм	N, мм ⁻¹	λ_i , мм	$\lambda_{\text{ср}}$, нм	$ \Delta\lambda $, нм	$\Delta\lambda_{\text{сл}}$, нм	$\Delta\lambda_{\text{от}}$, %

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист, оформленный по правилам ВЛГУ;
- цель работы;
- краткая теоритическая часть;
- порядок выполнения работы;
- представить результаты измерений в таблице и расчеты искомых величин;
- по результатам работы сделать вывод.

Контрольные вопросы.

1. Какие лучи называются когерентными?
2. Что собой представляет свет?
3. Почему интерференцию можно наблюдать от двух лазеров и нельзя от двух электроламп?
4. Изобразите на чертеже и запишите уравнение электромагнитной волны.
5. В чем суть явления интерференции?
6. Освещая тонкую пленку из прозрачного материала монохроматическим светом, падающим нормально к поверхности пленки, на ней наблюдаются параллельные чередующиеся равноудаленные равноудаленные светлые и темные полосы. Одинакова ли толщина отдельных участков пленки?
7. Как возникает излучение лазера? Охарактеризуйте его

Лабораторная работа №3.

«Определение размеров металлической сетки и клеток крови».

Цель выполнения лабораторной работы: экспериментально изучить явления дифракции света и определить размеры препятствия, освещенного лазерным излучением.

Краткая теория вопроса:

По современным представлениям свет – это сложный электромагнитный процесс переменный во времени и в пространстве, обладающий одновременно как волновыми, так и квантовыми свойствами. В явлениях дифракции проявляются волновые свойства света. Явление дифракции состоит в том, что при прохождении через узкие отверстия, соизмеримые с длиной волны, или около краев непрозрачных экранов, свет испытывает отклонение от прямолинейного распространения и заходит в область геометрической тени.

Явление дифракции объясняется с помощью принципа Гюйгенса, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, служит центром вторичных волн, а огибающая этих волн даст положение волнового фронта в следующий момент времени.

Принцип Гюйгенса решает лишь задачу о направлении распространения волнового фронта, но не затрагивает вопроса об амплитуде, а следовательно, и об интенсивности волн, распространяющихся по разным направлениям. Френель вложил в принцип Гюйгенса физический смысл, дополнив его идеей интерференции вторичных волн.

Согласно принципу Гюйгенса — Френеля, световая волна, возбуждаемая каким-либо источником S , может быть представлена как результат суперпозиции когерентных вторичных волн, «излучаемых» фиктивными источниками. Такими источниками могут служить бесконечно малые элементы любой замкнутой поверхности, охватывающей источник S . Обычно в качестве этой поверхности выбирают одну из волновых поверхностей, поэтому все фиктивные источники действуют синфазно. Таким образом, волны, распространяющиеся от источника, являются результатом интерференции всех когерентных вторичных волн. Френель исключил возможность возникновения обратных вторичных волн и предположил, что если между источником и точкой наблюдения находится непрозрачный экран с отверстием, то на поверхности экрана амплитуда вторичных волн равна нулю, а в отверстии — такая же, как при отсутствии экрана.

Учет амплитуд и фаз вторичных волн позволяет в каждом конкретном случае найти амплитуду (интенсивность) результирующей волны в любой точке пространства, т. е. определить закономерности распространения света.

Явление дифракции хорошо наблюдается при прохождении белого света через

дифракционную решетку с образованием ярких спектров. При пропускании лазерного излучения через дифракционную решетку можно наблюдать монохроматические максимумы интенсивности.

Дифракция света наблюдается не только на плоской одномерной решетке (штрихи нанесены перпендикулярно некоторой прямой линии), но и на двумерной решетке (штрихи нанесены во взаимно перпендикулярных направлениях в одной и той же плоскости). Большой интерес представляет дифракция на пространственных трехмерных решетках - пространственных образованиях, в которых элементы структуры подобны по форме, имеют геометрически правильное и периодически повторяющееся расположение, а также постоянные (периоды) решеток, соизмеримые с длиной волны электромагнитного излучения. В качестве пространственных дифракционных решеток могут быть использованы кристаллические тела, так как в них неоднородности (атомы, молекулы, ионы) регулярно повторяются в трех направлениях.

Дифракция света может происходить также в так называемых мутных средах - средах с явно выраженными оптическими неоднородностями. К мутным средам относятся аэрозоли (облака, дым, туман), эмульсия, коллоидные растворы и т.д., т. е. такие среды, в которых взвешено множество очень мелких частиц инородных веществ. Свет, проходя через мутную среду, дифрагирует от беспорядочно расположенных микронеоднородностей, давая равномерное распределение интенсивностей по всем направлениям, не создавая какой-либо определенной дифракционной картины. Происходит так называемое рассеяние света *в мутной среде*. Это явление можно наблюдать, например, когда узкий пучок солнечных лучей, проходя через запыленный воздух, рассеивается на пылинках и становится тем самым видимым.

Рассеяние света (как правило, слабое) наблюдается также и в чистых средах, не содержащих посторонних частиц. Л. И. Мандельштам объяснил рассеяние света в средах нарушением их оптической однородности, при котором показатель преломления среды не постоянен, а меняется от точки к точке. В дальнейшем польский физик М. Смолуховский указал, что причиной рассеяния света могут быть также флуктуации плотности, возникающие в процессе хаотического теплового движения молекул среды. Рассеяние света в чистых средах, обусловленное флуктуациями плотности, анизотропии или концентрации, называется молекулярным рассеянием.

$$\varphi \quad L$$

Порядок выполнения работы:

1. В держателе на пути лазерного луча установить металлическую сетку. На экране получить изображение пространственной дифракционной картины для некоторого расстояния L от предмета.

2. Измерить расстояние L от предмета до экрана, а также между максимумами $2I_1$, $2I_2$ и т.д. по вертикали D горизонтали.

3. Составить таблицу 2 и занести в нее результаты измерений. Размеры D малых отверстий или препятствий при дифракции электромагнитного лазерного излучения известной длины волны λ можно определить по формуле:

$$D = k\lambda L / l$$

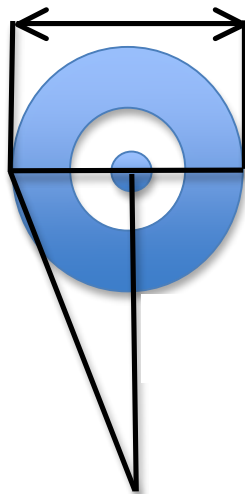
Вычислить размер ячейки металлической сетки (сито) D и его среднее значение, а также N - число отверстий на 1мм.

4. Вычислить наименьшую приборную погрешность однократного измерения D .

Таблица 1.

L , мм	k	$l_{гор}$, мм	$L_{вер}$, мм	$D_{гор}$	$D_{вер}$

5. Вместо дифракционной решетки в штатив поместить стеклянную пластинку с мазком крови. Путем перемещения пластинки в фронтальной плоскости добиться появления на экране картины из нерезких чередующихся концентрических темных и светлых колец красного цвета. Так же, как и в первом опыте, произвести измерения L – расстояния от экрана до стеклянной пластины (L взять в пределах от 5 до 15 см) и D – диаметров колец. При этом первым кольцом считается темное, вторым – светлое, третьим темное и т.д. (диаметры колец отметить на чистом листе бумаги, приложенном к экрану).



6. Вычисления занести в таблицу 2.

вычислить $\text{tg}\varphi = D/2L$,

вычислить радиус частицы r согласно условию максимума:

$$r\text{Sin}\varphi = k\lambda; \quad \text{Sin}\varphi \approx \text{tg } \varphi$$

k -коэффициент пропорциональности ($k_1=0,61$, $k_2=0.82$, $k_3 = 1.11$, $k_4 = 1.34$)

λ -длина волны лазерного излучения (берется из первого опыта $\lambda_{\text{ср}}$).

Данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2.

кольца	D, м	L, м	tgφ	r, м	r _{ср} , м	Δr , м	Δr _{сл} , м	Δr _{от} , %

7. На основании проделанной работы сделать вывод. Результаты записать в виде:

$$r = r_{\text{ср}} \pm \Delta r_{\text{от}}$$

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. титульный лист, оформленный по правилам ВЛГУ;
2. цель работы;
3. краткая теоритическая часть;
4. порядок выполнения работы;
5. представить результаты измерений в таблице и расчеты искомых величин;
6. по результатам работы сделать вывод.

Контрольные вопросы.

1. Что собой представляет свет?
2. Почему дифракция не наблюдается на больших отверстиях?
3. В чем суть явления дифракции?
4. Как влияет на дифракцию Фраунгофера от одной щели увеличение длины волны и ширины щели?
5. Условие максимума интенсивности при дифракции света на решетке?
6. Почему мы видим небо голубым? Каким явлением можно это объяснить?
7. Как изменится дифракционная картина при удалении экрана от решетки?

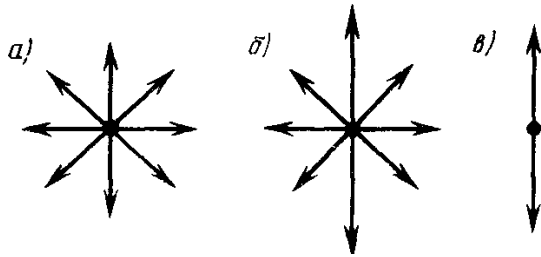
Лабораторная работа №4.

«Изучение поляризации лазерного луча».

Цель выполнения лабораторной работы: экспериментально изучить явление поляризации света при работе с лазерным излучением и поляризатором.

Краткая теория вопроса:

Естественные и искусственные макроскопические источники света, такие как лампы накаливания, газоразрядные лампы, Солнце и т.д., представляют собой совокупность множества атомных излучателей, которые испускают кванты света независимые друг от друга. Пространственная ориентация электромагнитных векторов E и B этих квантов и моменты актов испускания отдельными частицами распределены хаотически. Поэтому световая волна, излучаемая таким источником, характеризуется быстро изменяющимися колебаниями векторов E и B , плоскости которых с равной вероятностью ориентированы во



всевозможных направлениях, перпендикулярных направлению распространения светового луча. Такой свет называется естественным (неполяризованным) и может быть изображен совокупностью векторов E , расположенных

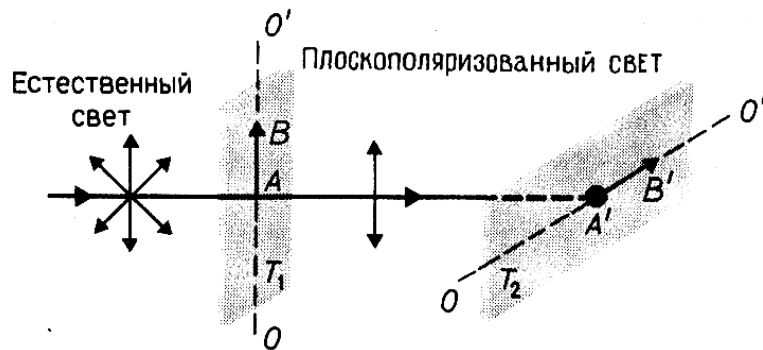
хаотично в сечении, перпендикулярном распространению луча (рис.1а). Свет, в котором колебания вектора E каким-либо образом упорядочены в преимущественном направлении (рис.1б) называется частично поляризованным или колеблется в определенной плоскости, называется линейно или плоско-поляризованным (рис.1в).

Плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора плоскополяризованной волны и направление распространения этой волны, называется плоскостью поляризации. Плоскополяризованный свет является предельным случаем эллиптически поляризованного света—света, для которого вектор E (вектор H) изменяется со временем так, что его конец описывает эллипс, лежащий в плоскости, перпендикулярной лучу. Если эллипс поляризации вырождается в прямую (при разности фаз φ , равной нулю или π), то имеем дело с рассмотренным выше плоскополяризованным светом, если в окружность (при разности фаз $\varphi = \pm\pi/2$, и равенстве амплитуд складываемых волн), то имеем дело с циркулярно поляризованным (поляризованным по кругу) светом.

Степенью поляризации называется величина
$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

I_{\max} и I_{\min} — максимальная и минимальная интенсивности света, соответствующие двум

взаимно перпендикулярным компонентам вектора E . Естественный свет можно преобразовать в плоскополяризованный, используя так называемые поляризаторы, пропускающие колебания только определенного направления. В качестве поляризаторов могут быть использованы среды, анизотропные в отношении колебаний вектора E , например кристаллы (турмалин).



При направлении естественного света перпендикулярно пластинке турмалина T_1 , вырезанной параллельно оптической оси OO' , вращая кристалл T_1 вокруг направления луча, никаких изменений интенсивности

прошедшего через турмалин света не наблюдается. Если на пути луча поставить вторую пластинку турмалина T_2 и вращать ее вокруг направления луча, то интенсивность света, прошедшего через пластинки, меняется в зависимости от угла между оптическими осями кристаллов по закону Малюса: $I = I_0 \cos^2 \alpha$, где I и I_0 — соответственно интенсивности света, падающего на второй кристалл и вышедшего из него. Пластинка T_1 , преобразующая естественный свет в плоскополяризованный, является поляризатором. Пластинка T_2 , служащая для анализа степени поляризации света, называется анализатором.

Интенсивность прошедшего через пластинки света изменяется от минимума (полное погашение света) при $\alpha = \pi/2$ (оптические оси пластинок перпендикулярны) до максимума при $\alpha = 0$ (оптические оси пластинок параллельны). Однако, амплитуда E световых колебаний, прошедших через пластинку T_2 , будет меньше амплитуды световых колебаний E_0 , падающих на пластинку T_2 : $E = E_0 \cos \alpha$.

Луч лазера поляризован. В этом можно убедиться с помощью поляризатора, пропускающего колебания только определенного направления. Поляризатор представляет собой пластинку, вырезанную из анизотропного кристалла таким образом, что оптическая OO располагается в плоскости пластинки.

При прохождении света через такую пластинку остаются колебания вектора E , параллельные оптической оси OO поляризатора. Исследование поляризации лазерного луча проводят следующим образом:

Порядок выполнения работы:

1. На пути лазерного луча (Л) после металлической сетки (С) установить поляризатор (П).
2. Поворачивая поляризатор вокруг оптической оси ОО, найти положения оси О1О1 поляризатора, при котором интерференционная картина на экране имеет максимальную освещенность.
3. При повороте оси поляризатора на 90^0 освещенность экрана почти полностью исчезает. Это означает, что лазерный луч поляризован, т.е. плоскость колебаний вектора E напряженности электрической составляющей электромагнитной волны совпадает с осью О1О1, а в плоскости, перпендикулярной этой оси колебания вектора E отсутствуют.

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист, оформленный по правилам ВлГУ;
- цель работы;
- краткая теоритическая часть;
- порядок выполнения работы;
- по результатам работы сделать вывод.

Контрольные вопросы.

1. Какие лучи называются когерентными?
2. Что собой представляет свет?
3. Изобразите на чертеже и запишите уравнение электромагнитной волны.
4. В чем суть явления дифракции и интерференции?
5. Какой свет называется естественным и поляризованным?
6. Как возникает излучение лазера? Охарактеризуйте его

Лабораторная работа №5.

«Принцип работы атомно-силового микроскопа».

Цель выполнения лабораторной работы: Ознакомиться с принципами функционирования АСМ и устройством Smena B и Ntegra Aura. Определить функцию лазера в данной системе.

Краткая теория вопроса: Атомно-силовой микроскоп (АСМ, англ. AFM — atomic-force microscope) — сканирующий зондовый микроскоп высокого разрешения. Используется для определения рельефа поверхности с разрешением от десятков ангстрем вплоть до атомарного. С помощью атомно-силового микроскопа можно исследовать как проводящие, так и непроводящие поверхности.

Основными элементами микроскопа являются зонд, система регистрации отклонения зонда, пьезосканер, система обратной связи. Типичная схема взаимодействия основных элементов АСМ показана на рис. 5.1.

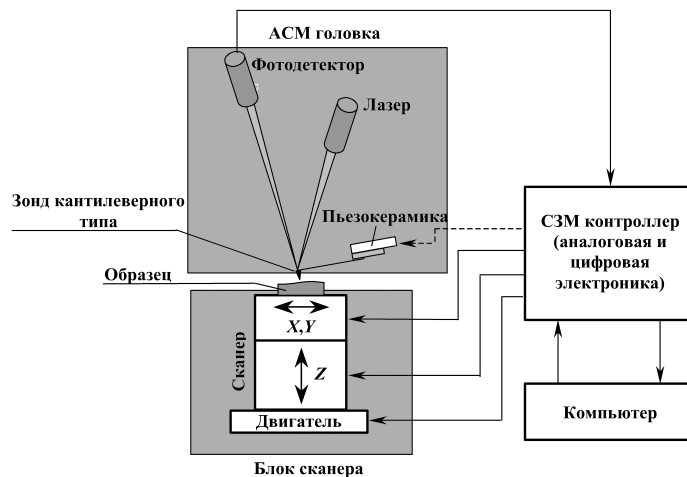


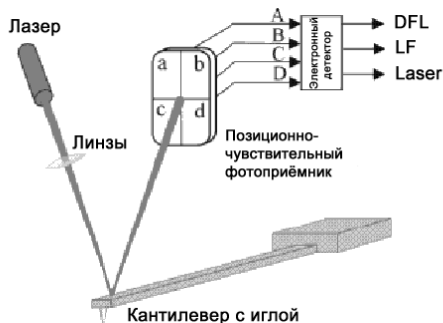
Рис. 5.1 Схема взаимодействия основных элементов микроскопа

Сканирование поверхности осуществляется при помощи пьезосканера, который двигает образец относительно зонда последовательно, строка за строкой (изменяются координаты X и Y). При взаимодействии с поверхностью происходит изменение механического состояния зонда, например, отклонение кантилевера. В процессе сканирования величина отклонения кантилевера (или какого-либо другого параметра взаимодействия) от начально установленного значения измеряется при помощи регистрирующей системы. Сигнал, пропорциональный отклонению, поступает в систему обратной связи, которая управляет положением пьезосканера оси Z .

Измерительная головка содержит держатель зонда и оптическую систему детектирования его отклонений. Сканирование в приборе Ntegra Aura осуществляется

образцом, поэтому зонд закрепляется на головке жестко, в отличие от систем (конфигурация Smena B), в которых при сканировании перемещается зонд (кантилевер).

Регистрирующая система состоит из источника излучения, позиционно-чувствительного фотоприемника и оптической системы (рис. 5.2).



Источником излучения является полупроводниковый лазер (длина волны — 670 нм, мощность — 0.9 мВт). Позиционно-чувствительным фотоприемником является четырехсекционный фотодиод. Оптическая система состоит из фокусирующего объектива и зеркальной поверхности кантилевера.

Рис. 5.2. Оптическая схема регистрации отклонения кантилевера

Луч лазера фокусируется объективом в эллиптическое пятно размером около 50 мкм на обратной стороне кантилевера в районе острия. Отраженный от кантилевера свет попадает на четырехсекционный фотодиод.

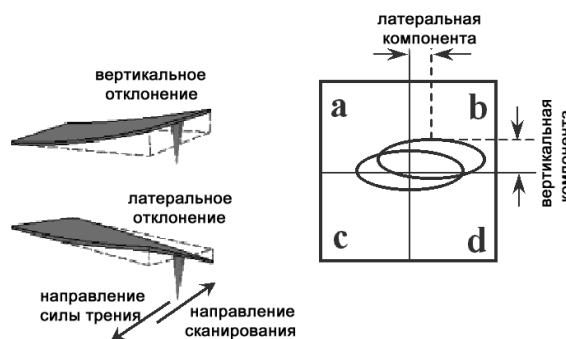


Рис. 5.3. Смещение лазерного пятна при отклонении кантилевера

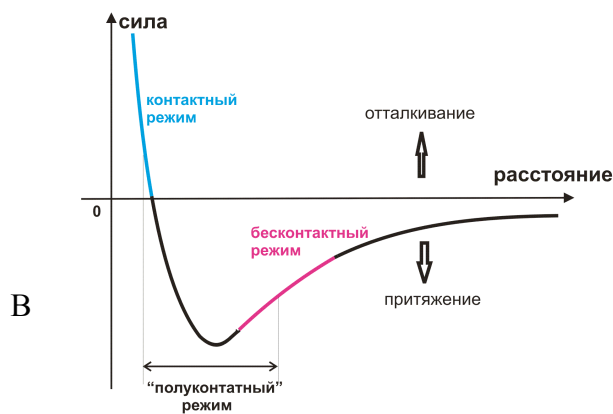
Отклонение кантилевера вызывает перемещение лазерного пятна относительно сегментов (a , b , c , d) фотодиода (рис. 5.3), что вызывает изменение электрических сигналов (A , B , C , D), поступающих с этих сегментов. Сигналы предварительно обрабатываются (усиливаются, складываются и вычитаются), и с выхода регистрирующей системы поступают три сигнала:

1) DFL — сигнал, пропорциональный отклонению кантилевера в вертикальном направлении. DFL является разностным сигналом между верхней и нижней (рис. 5.3) половинами фотодиода: $DFL = (A + B) - (C + D)$.

2) LF — сигнал, пропорциональный боковому отклонению луча, который позволяет измерять крутильную деформацию кантилевера. LF является разностным сигналом между правой и левой (рис. 5.3) половинами фотодиода: $LF = (A + C) - (B + D)$.

3) *LASER* — сигнал, пропорциональный интенсивности света, отраженного от кантилевера. *LASER* является суммарным сигналом от всех четырех сегментов фотодиода: $LASER = A + B + C + D$. Данный сигнал используется при юстировке лазера.

Сканер обеспечивает два независимых движения образца относительно кантилевера: сканирование вдоль поверхности образца (в плоскости X, Y) и перемещение в направлении, перпендикулярном к поверхности (по оси Z). Сканер изготовлен из пьезоэлектрического материала. В микроскопе Smena B и Ntegra Aura используются несколько модификаций сканеров, имеющих некоторые отличия в конструкции и обеспечивающих различное максимальное поле сканирования: $50 \times 50 \text{ мкм}^2$ и $100 \times 100 \text{ мкм}^2$. При этом максимальная измеряемая высота — 2,5 мкм и 10 мкм соответственно. Сканер состоит из двух пьезотрубок разного диаметра, вставленных одна в другую. Пьезотрубка меньшего диаметра обеспечивает сканирование в плоскости образца (X, Y), большего — перемещение образца относительно кантилевера по нормали (по оси Z).



Характер взаимодействия зонд — поверхность образца в общем случае достаточно сложен, поскольку определяется свойствами зонда, образца и среды, в которой проводится исследование. В случае исследований незаряженных поверхностей в естественной атмосфере (на воздухе) основной вклад в силовое

Рис. 5.4. Смещение лазерного пятна при отклонении кантилевера

взаимодействие зонда и образца дают силы отталкивания, вызванные механическим контактом зонда и образца, силы Ван-дер-Ваальса, а также капиллярные силы, связанные с наличием пленки адсорбата (воды) на поверхности образца. Все они имеют электромагнитную природу. Степень влияния этих сил существенно зависит от многих параметров, в первую очередь от расстояния d между кончиком иглы и образцом, поэтому все силы можно условно разделить на короткодействующие и далекодействующие. Под короткодействующими подразумеваются силы, возникающие при непосредственном перекрытии электронных оболочек атомов, расположенных на кончике иглы, и атомов, принадлежащих исследуемой поверхности. Величина короткодействующих сил быстро

спадают с увеличением d до нескольких ангстрем. Благодаря этим силам игла не проникает в глубь образца, и при условии, что основной вклад во взаимодействие дает ближайший к поверхности атом заостренной иглы, кантилевер будет описывать контур электронной плотности атомов поверхности в виде так называемой атомной гофрировки. Атомарное разрешение можно получить при определенных условиях сканирования: чистая поверхность, высокая степень защиты от внешних вибраций, проведение измерений в вакууме.

Дальнодействующие силы, обусловленные ван-дер-ваальсовским (рис. 5.4), электростатическим или магнитным взаимодействием, характеризуются более слабой зависимостью от d и проявляются при величине зазора игла–образец от единиц до нескольких тысяч ангстрем, что позволяет исследовать поверхность с помощью АСМ в бесконтактном режиме.

В процессе сканирования зонд может касаться поверхности (контактный режим измерений) или находиться на расстоянии нескольких нанометров от неё (бесконтактный), или частично касаться поверхности (полуконтактный/прерывисто контактный режим измерений). На рис. 5.4 отмечены области, отвечающие зависимости силы взаимодействия от расстояния до поверхности для контактного, полуконтактного и бесконтактного режимов.

Задание к работе:

- a. Включить компьютер, контроллер, запустить программу управления прибором Nova.
- b. Ознакомится с расположением основных узлов прибора, расположением командных окон и кнопок программы Nova.
- c. Установить кантилевер в измерительную головку. Произвести юстировку оптической системы (добиться максимального значения сигнала LASER, $DFL = 0$, $LF = 0$).
- d. Установить тестовый образец №1 в держатель сканера.
- e. Настроить микроскоп для работы в контактном режиме (Set point = 2; FB gain = 0,5).
- f. Произвести подвод образца к кантилеверу.
- g. Исследовать топографию в режиме постоянной высоты и постоянной силы в двух взаимно перпендикулярных направлениях сканирования. Определить топографию тестового образца.

- h. Отвести образец от зонда на 1,0 мм.
- i. По результатам работы подготовить отчет.
- j. В выводах описать полученный рельеф поверхности (среднюю высоту, период повторения, диаметр основания структур и тп)

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 2) титульный лист, оформленный по правилам ВлГУ;
- 3) цель работы;
- 4) краткая теоритическая часть;
- 5) порядок выполнения работы;
- 6) по результатам работы сделать вывод.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Организация системы обратной связи.
- 2. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты.
- 3. Как должен располагаться кантилевер при значениях сигналов с оптической системы регистрации отклонения зонда $DFL = 2$; $LF = -5$?
- 4. Для чего используется лазер в системе АСМ?
- 5. К какому классу опасности можно отнести этот лазерный источник?
- 6. Для каких целей используют АСМ? В каких отраслях промышленности и науки?

Лабораторная работа №6.

«Лазерная стереолитография».

Цель выполнения лабораторной работы: Ознакомится с принципами лазерной стереолитографии, изучить приемы эффективного использования установки ЛС-250 для изготовления пластиковых копий трехмерных компьютерных моделей, а также предварительной обработки CAD моделей.

Краткая теория вопроса:

Лазерная стереолитография является одним из бурно развивающихся направления быстрого прототипирования. Термин "быстрое прототипирование", "Rapid Prototyping" (RP) широко используется при разработке программного обеспечения и компьютерном моделировании. С точки зрения конструкторов неvirtуальных объектов, этот термин означает быстрое прямое преобразование компьютерных моделей в физический, осязаемый объект. Другие названия RP - настольное производство (Desktop Manufacturing), трехмерный принтер (3-D printing) или плоттер и т.п.

В большинстве случаев использование технологий RP приводит к получению модели или элементов оснастки, которые используются для подготовки реального производства. В некоторых случаях получаемый объект просто используется конечным пользователем, причем такого рода использование с каждым годом увеличивается, в связи с чем термин "прототипирование" становится не вполне правильным.

Эффект от использования RP проявляется в значительном, в десятки раз, сокращении времени и затрат на разработку новых изделий, а также повышении качества разработки. Конструктор получает в свои руки рабочую модель почти так же легко и быстро, как чертеж с принтера или плоттера, что позволяет значительно повысить эффективность его работы.

В настоящее время наиболее успешно развиваются технологии послойного изготовления трехмерных объектов, основанные на

- лазерном раскрое листовых материалов;
- спекании и наплавке порошков металлов, керамики и полимеров лазерным излучением или электронным пучком;
- экструзии термопластиков;
- фотоиницированной лазерным излучением или излучением люминисцентных ламп, обычно ближнего УФ диапазона (320-360 нм), полимеризации.

Последняя технология наиболее широко используется в разрабатываемых и серийно

выпускаемых в настоящее время установках для оперативного макетирования и получила название "лазерной стереолитографии" (Laser Stereolithography).

Основой стереолитографии является локальное изменение фазового состояния однородной среды (переход жидкость - твердое тело) в результате фотоинициированной в заданном объеме полимеризации. Суть этого процесса состоит в создании с помощью инициирующего, например, лазерного излучения в жидкой реакционно-способной среде активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов), которые взаимодействуя с молекулами мономера инициируют рост полимерных цепей, т.е. процесс полимеризации. Следствием полимеризации является изменение фазового состояния среды - в облученной области образуется твердый полимер. Так как активные центры появляются только в облученной области, то и полимеризация протекает преимущественно в этой области, т.е. достигается пространственная селективность фотоинициированной полимеризации. Активные центры образуются при взаимодействии ФПК с излучением из определенного спектрального диапазона. Эта спектральная селективность позволяет, в частности, проводить полимеризацию в условиях естественного освещения.

Высокая квантовая эффективность фотоинициированной полимеризации (поглощение одного кванта излучения приводит к полимеризации до 10^4 молекул мономера) и, как следствие этого, невысокие требования на мощность инициирующего излучения, ее экологическая чистота, возможность эффективного протекания при комнатной температуре, а также принципиальная возможность широкого варьирования механических и физико-химических свойств отвержденного материала путем изменения состава фотополимеризуемой композиции (ФПК) делают этот базовый процесс привлекательным с точки зрения создания на его основе установок для оперативного изготовления трехмерных объектов по их компьютерным образам.

Лазерная стереолитография включает в себя получение трехмерной компьютерной модели объекта в STL формате (рис.6.1а), его разбиение на тонкие слои (рис.6.1б), расчет траектории движения лазерного луча, заполняющего каждое сечение (рис.6.1в) и последовательное воспроизведение соответствующих поперечных сечений на поверхности

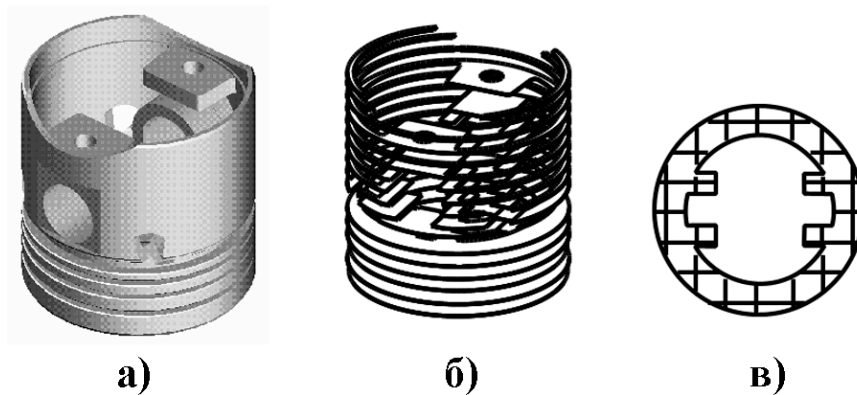


Рис.6.1. Описание процессов в лазерной стереолитографии

жидкой фотополимеризующейся композиции сфокусированным пучком иницирующего полимеризацию лазерного излучения. Коэффициент поглощения излучения достаточно велик, так что оно практически полностью поглощается в тонком (0,05-0,5 мм) слое фотополимеризующейся композиции (ФПК). В облученной области образуется пленка твердого полимера. Для позиционирования лазерного луча в заданную точку на поверхности ФПК и его перемещения по рассчитанной траектории с заданной скоростью используется управляемый компьютером двухкоординатный гальваноэлектрический сканатор. Переход от одного слоя к другому осуществляется путем перемещения платформы, на которой выращивается деталь, в емкости с жидкой ФПК на глубину, равную толщине следующего слоя. Рис.6.2 иллюстрирует последовательность послойного изготовления трехмерного

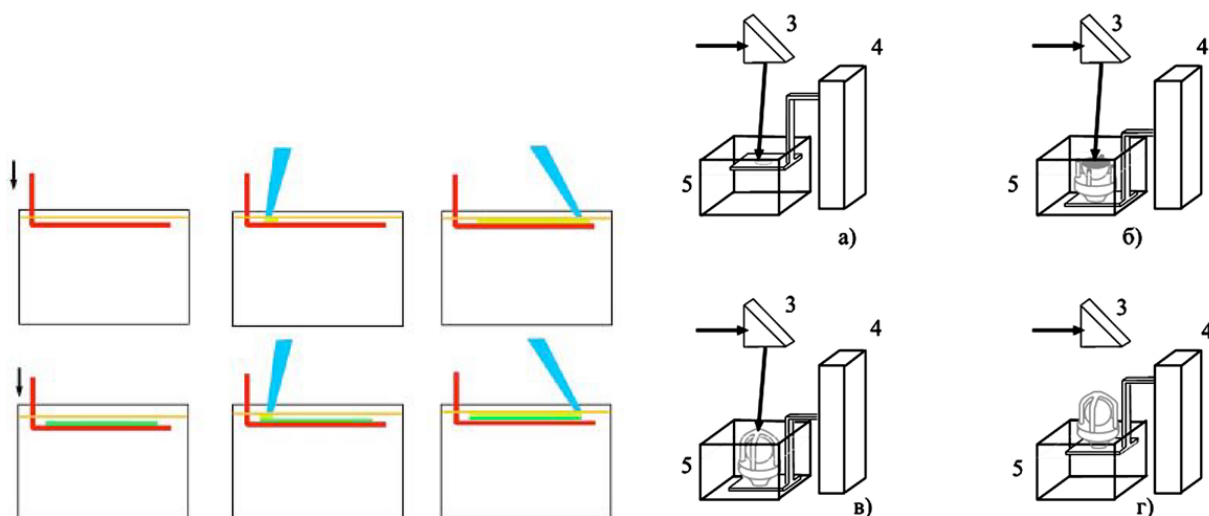


Рис.2. Последовательность послойного изготовления трехмерного объекта методом СЛ.

объекта сфокусированным лазерным лучом. Платформа, на которой “выращивается” деталь, устанавливается ниже поверхности ФПК на расстоянии равном толщине первого слоя. На поверхности ФПК формируется изображение соответствующее первому сечению объекта. В облучаемой области образуется пленка твердого полимера. После завершения формирования первого слоя платформа с пленкой опускается на расстояние равное толщине следующего слоя и на поверхности ФПК воспроизводится изображение соответствующее второму сечению детали. Параметры инициирования выбираются таким образом, чтобы второй слой надежно “приклеился” к первому. Далее платформа перемещается на расстояние равное толщине следующего слоя и процесс повторяется до тех пор пока не будут изготовлены все слои. После завершения формирования последнего слоя платформа поднимается над поверхностью ФПК, послойно выращенная деталь снимается с платформы, с поверхности детали удаляются следы жидкой ФПК путем ее промывки в органическом растворителе и деталь сушится в камере дополимеризации. В дальнейшем деталь можно шлифовать, полировать и красить.

Основные этапы лазерной стереолитографии

Процесс получения пластиковых копий трехмерных компьютерных моделей методом лазерной стереолитографии состоит из четырех основных этапов:

- получение STL файла САD-модели,
- подготовка модели, т.е. подготовка данных для системы управления установкой ЛС-250,
- настройки установки и выращивания детали,
- постобработка изготовленной на ЛС-250 детали.

Порядок выполнения работы:

1. Начертить компьютерную модель и преобразовать её в формат STL.
2. Подготовка модели производится средствами программных модулей пакета Magics RP и специально разработанными программными продуктами и включает в себя:
 - анализ STL модели (Magics RP);
 - исправление ошибок в STL модели (Magics RP);
 - оптимальную ориентацию модели и ее размещение на платформе (Magics RP);
 - генерацию подпорок и создание STL файла подпорок (Magics RP);
 - разбиение модели и подпорок на слои (Magics RP);
 - преобразование файлов сечений объекта и подпорок в формат установки ЛС-250 (sli_tgf_transf);
 - перенос по локальной сети данных с компьютера подготовки данных на управляющий компьютер ЛС-250.

3. Модель ориентируется в трёхмерном пространстве для оптимального изготовления на ЛС-250. Выбор ориентации определяется большим количеством факторов и, в конечном счете, определяется опытом и интуицией оператора. Такими факторами являются: минимальное количество подпорок, которые после изготовления удаляются; качество основных формообразующих участков поверхности детали; время изготовления модели.

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист, оформленный по правилам ВлГУ;
- цель работы;
- краткая теоритическая часть;
- порядок выполнения работы;
- по результатам работы сделать вывод.

Контрольные вопросы.

1. Почему для лазерной стерилитографии используют УФ лазеры?
2. К какому классу опасности вы отнесете данный лазерный источник?
3. Какие технические ограничения имеет метод лазерной стерилитографии?
4. В каких областях промышленности используется данный метод быстрого создания прототипов?
5. На каком физическом явлении основан принцип действия стрерилитографа?

Лабораторная работа №7.

«Лазерная установка точечной сварки».

Цель выполнения лабораторной работы: Ознакомится с принципами работы твердотельного волоконного лазера CLW-120, изучить его технические характеристики, а также выполнить технологическую операцию в присутствии преподавателя.

Краткая теория вопроса:

Лазерная технологическая установка на основе импульсного Nd:YAG лазера (Pulse Nd:YAG laser) предназначены для точечной сварки различных металлов и сплавов толщиной до 2мм в ручном и автоматическом режиме.

Установка для работы в режиме ручной сварки (ремонт ювелирных изделий и т.п.) состоит из базового блока, соединенного с фокусирующей системой доставки излучения посредством волоконно- оптического кабеля. Фокусирующая система доставки излучения обеспечивает плавную регулировку диаметра пятна излучения в плоскости сварки благодаря телескопическому объективу и визуальному контролю качества сварки с помощью бинокулярного микроскопа.

Параметры лазерного излучения:

Длина волны (Laser wavelength)	1064 nm
Максимальная энергия излучения в импульсе длительностью 2 ms (Maximum pulse energy value at 2ms pulse duration)	>20 J @ 2 ms
Импульсная мощность излучения (при длительности 2 ms) (Pulse irradiation power at 2ms duration)	>10 kW @ 2 ms
Максимальная средняя мощность излучения (Maximum average power)	120 W
Частота повторения Импульсов (Pulse repetition rate)	от одиночных до 20 Hz
Длительность импульса (Pulse duration)	0,5 , 40ms, Возможность генерации пачек импульсов с регулируемой скважностью
Подача излучения (Beam delivery): Режим автоматической сварки	Гибкий оптоволоконный кабель длиной 2,0m (>2m опция) с оптическим диаметром волокна 600µm (400µm и 800µm опции), объектив с фокусным расстоянием 50mm (70mm опция)
Режим ручной сварки	Гибкий оптоволоконный кабель длиной 2,0m (>2m опция) с оптическим диаметром волокна 600µm (400µm и 800µm опции), телескопический объектив с фокусным

	расстоянием 75 mm (50mm и 100mm опции) и регулировкой увеличения диаметра пятна в фокусе в диапазоне от 0,6 до 2,0
Диаметр пятна в фокусе (Beam spot size at focus)	0,4 mm – 1,2 mm для волокна 600 μm и объектива 75 mm. □ 0,3 mm – 2,5 mm для других значений оптического диаметра волокна и фокусного расстояния объектива
Пилотный лазер (Pilot laser)	диодный лазер, 3 mW & 650 nm
Система охлаждения	Одноконтурная воздушно-водяная

Панель управления позволяет пользователю оперативно выставлять параметры лазерного излучения (Energy, Frequency, Pulse, Shape), операционную моду (SimpHigh, SimpLow, Advanced), включение/выключение пилотного лазера (Pilot laser), включение/выключение режима предимпульса (Prepulse regim), а так же сохранять текущие параметры (Save) для их последующей загрузки (Load).

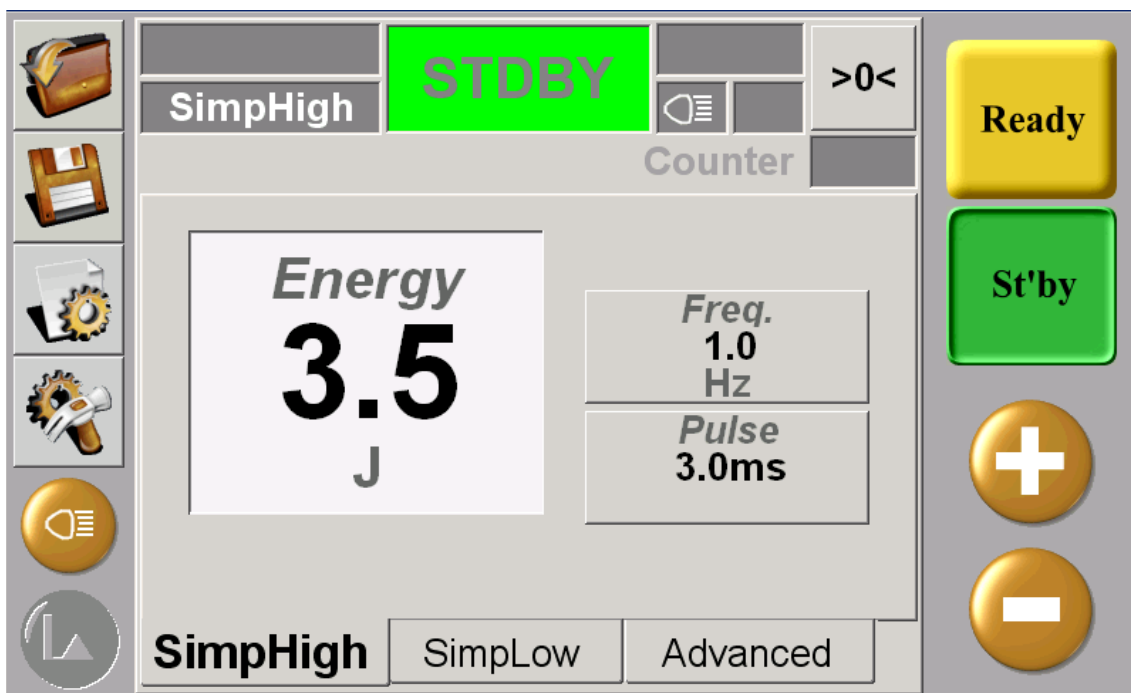



Рис.7.1. Вспомогательной меню управления лазерной системой CLW-120

Параметры лазерного излучения (Energy, Frequency, Pulse) активируются нажатием на соответствующую кнопку и затем их значение увеличивается/уменьшается нажатием на правые боковые кнопки «+/-».

Для расширения возможностей прибора предусмотрено три операционных моды – SimpHigh, SimpLow и Advanced. Моды SimpHigh и SimpLow предназначены для работы с

высокими ($>1J$) и низкими ($<1J$) значениями выходной энергии лазера соответственно. В моде Advanced можно задавать произвольную форму импульса, а также использовать режим предимпульса (в модах SimpHigh и SimpLow он заблокирован). После введения всех параметров переведите прибор в состояние готовности, нажав на кнопку [Ready]

Теперь прибор полностью готов к работе. При нажатии на ножную педаль излучение будет подано на мишень.

Счетчик импульсов (Counter) Показывает суммарное количество сделанных вспышек. Подменю Shape Editor (для входа нажмите []) позволяет создавать новые формы импульсов, а также редактировать созданные ранее.

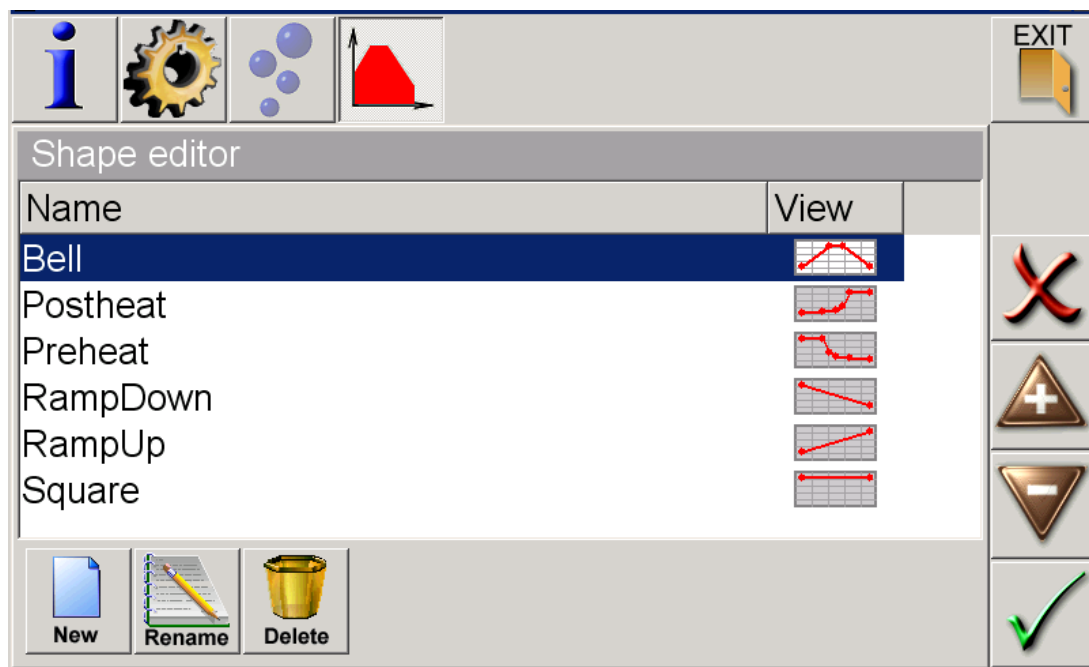


Рис.7.2. Подменю Shape Editor, в котором хранятся формы импульсов.

Интегрированный модуль лазерного излучателя содержит Nd:YAG лазер с рабочей длиной волны 1064 нм, как инструмент для сварки, и диодный лазер с «красной» длиной волны излучения 650 нм для наведения на объект.

Лазер состоит из активного элемента алюмоиттриевого граната, активированного неодимом (Nd:YAG), и газоразрядных ламп-вспышек, помещенных в кварцевый отражатель. Активный элемент, лампа и отражатель помещены вместе внутри охлаждаемого водой корпуса из нержавеющей стали – квантрона. Квантрон и два отражающих зеркала, установленных в специальных юстировочных держателях, составляют лазерный резонатор, генерирующий излучение на длине волны 1064 нм. Излучение на рабочей длине волны 1064нм после выхода из резонатора через зеркало 3 направляется двумя зеркалами в узел

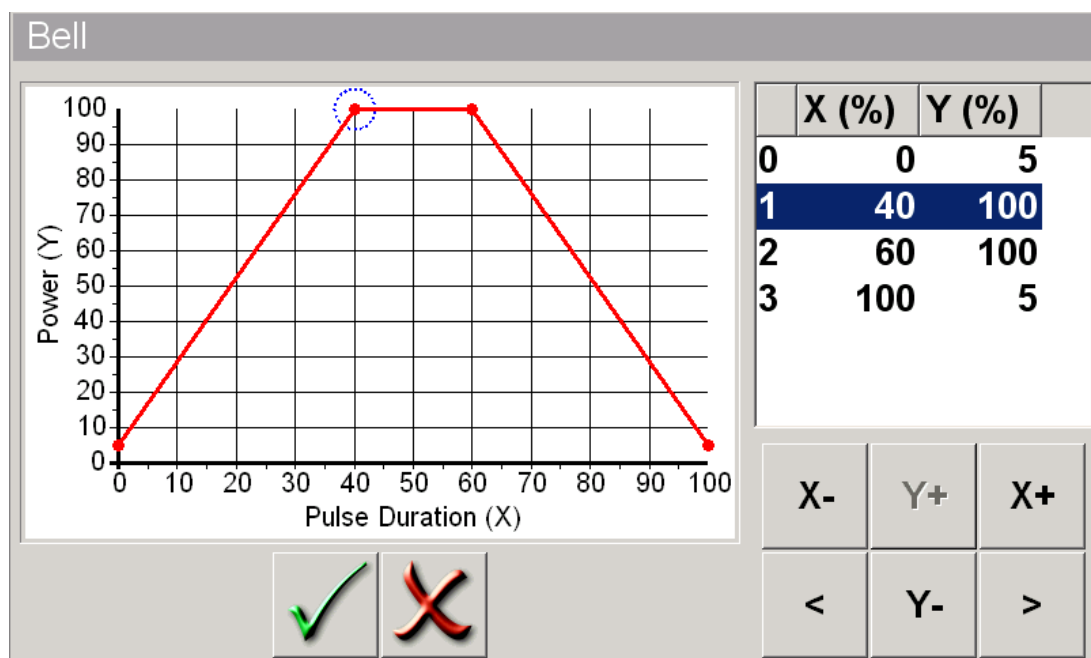


Рис.7.3. Подменю Shape Editor, в котором можно создавать новые формы импульсов.

ввода излучения в волокно.

Видимое излучение диодного лазера с длиной волны 650 nm имеет низкую выходную мощность и используется в процедурах настройки и юстировки лазерного резонатора и узла ввода во время сервисного обслуживания. Красный луч диодного лазера, направляемый двумя зеркалами, совмещается пространственно с инфракрасным лучом, используемым для сварки, перед вводом излучения обеих длин волн в оптоволокно.

Энергия выходного излучения Nd:YAG лазера постоянно контролируется. Малая часть выходного инфракрасного излучения отражается от отклоняющего зеркала, попадая на фотодиод внутреннего измерителя энергии. Интегральный сигнал внутреннего измерителя энергии передается на плату управления. Измеряется энергия каждого импульса, используемая в цепи обратной связи источника питания лазера для стабилизации выходной энергии каждого импульса излучения в процессе работы.

Уплотненная металлическая крышка защищает все оптические компоненты от пыли и влажности и блокирует видимое и невидимое рассеянное излучение от лазерного излучателя.

Эффективность преобразования электрической энергии в световую и, соответственно, выходная энергия лазерного излучения медленно уменьшаются во время эксплуатации. Эта частичная деградация эффективности полностью компенсируется постепенным увеличением рабочего напряжения на банке конденсаторов блока питания и соответствующей энергии, выделяемой при разряде лампы (режим автокоррекции напряжения накачки). Когда зарядное

напряжение блока питания приближается к максимально возможному значению (500V), это является сигналом для замены ламп накачки.

Порядок выполнения работы:

1. Под руководством преподавателя включить питание лазера.
2. Используя подменю Shape Editor, в котором можно создавать новые формы импульсов, создать пилоподобный импульс общей длительностью – 90мс из 3-х, по продолжительности равных зубьев с максимальной мощностью первого пика в 100 Вт, второго – 70 Вт, третьего – 40 Вт.
3. Перевести систему в режим READY.
4. Проследить процесс взаимодействия лазерного излучения с веществом мишени.

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист, оформленный по правилам ВлГУ;
- цель работы;
- краткая теоритическая часть;
- порядок выполнения работы;
- по результатам работы сделать вывод.

Контрольные вопросы.

1. Как можно поменять интенсивность лазерного воздействия при работе с лазерной системой CLW-120?
2. К какому классу опасности следует отнести данный лазер?
3. Какой физический процесс лежит в основе технологической операции “лазерная сварка”?
4. К каким материалам возможно применить данную операцию?