

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Факультет инновационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

 С. В. Шидловский

« 16 » 05 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Фотоника и лазерные технологии

по направлению подготовки

27.03.05 Инноватика

Направленность (профиль) подготовки:

Управление инновациями в наукоемких технологиях

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2023

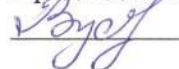
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01.04

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

 О.В. Вусович

Председатель УМК

 О.В. Вусович

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-5 – Способен находить и проектировать технико-технологическое решение на основе «лучших практик».

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-5.1 Знает и умеет анализировать технико-технологическое решение («лучшие практики»).

ИПК-5.2 Составляет план экспериментальных работ, проводит эксперименты и обрабатывает результаты.

ИПК-5.3 Проектирует и обосновывает/ доказывает технико-технологические решения по тематике исследований.

2. Задачи освоения дисциплины

– Знать: методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области фотоники, физики лазеров и лазерных технологий.

– Уметь: применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач в области фотоники, физики лазеров и лазерных технологий.

– Владеть: разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Название модуля.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Пятым семестр, зачет

Шестой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 56 ч.

-лабораторные: 56 ч.

в том числе практическая подготовка: 104 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

I Лазерные технологии

Тема 1. Определение квантовой электроники.

Краткое содержание темы. Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Когерентность индуцированного излучения. Соотношение неопределенностей «энергия – время», естественное время жизни, ширина спектра

спонтанного излучения. Лоренцева форма линии. Вероятность индуцированных переходов при монохроматическом излучении. Однородное и неоднородное уширения. Гауссова форма линии при доплеровском уширении.

Тема 2. Лазеры-усилители.

Краткое содержание темы. Поглощение и усиление. Активная среда. Сечение поглощения. Эффект насыщения. Плотность потока энергии насыщающего излучения. Импульсный режим, энергия насыщения. Усиление и генерация. Полоса пропускания усилителя бегущей волны. Шум квантового усилителя. Максимальная выходная мощность. Импульсный режим, максимальная выходная энергия, изменение формы импульса при нелинейном усилении.

Тема 3. Генерация.

Краткое содержание темы. Открытый резонатор, его добротность. Регенерация резонатора при усилении. Прополной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель. Условия самовозбуждения. Условия резонанса. Частота генерации. Максимальная выходная мощность.

Тема 4. Открытые резонаторы.

Краткое содержание темы. Резонаторы в электронике. Переход к коротким волнам. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов. Открытые резонаторы, прореживание спектра. Число Френеля. Моды. Время жизни моды пассивного резонатора. Дифракционные потери. Метод Фокса и Ли. Интегральное уравнение открытого резонатора.

Тема 5. Гауссовы пучки.

Краткое содержание темы. Конфокальный резонатор. Распределение поля. Гауссовы пучки. Размер пятна. Расходимость излучения. Радиус кривизны волнового фронта. Преобразование гауссовых пучков линзой. Согласование мод резонаторов. Фокусирование гауссовых пучков. Продольный и поперечный размеры фокальной области.

Тема 6. Устойчивость резонаторов.

Краткое содержание темы. Устойчивость линзовых световодов. Световод с одинаковыми линзами. Световод с чередующимися линзами двух различных фокусных расстояний. Условие устойчивости, диаграмма устойчивости. Эквивалентность линзового световода и открытого резонатора. Типы устойчивых резонаторов. Селекция поперечных мод диафрагмой. Неустойчивые резонаторы.

Тема 6. Неустойчивые резонаторы.

Краткое содержание темы. Геометро-оптическое рассмотрение. Коэффициент увеличения, потери на излучение. Симметричный резонатор, телескопический резонатор. Эквивалентное число Френеля. Селекция продольных мод. Частотная селекция, пространственная селекция тонкими поглотителями. Дисперсионные резонаторы.

Тема 7. Синхронизация мод.

Краткое содержание темы. Генерация излучения в нескольких продольных модах. Нерегулярный характер спектра генерации. Затягивание мод. Синхронизация мод. Длительность и период следования импульсов при синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация. Самосинхронизация. Модуляция добротности. Провал Лэмба.

Тема 8. Газовые лазеры.

Краткое содержание темы. Особенности газообразной активной среды. Основные методы возбуждения. Электрический разряд, газодинамика, химическое возбуждение, фотодиссоциация, оптическая накачка. Резонансная передача энергии возбуждения при столкновениях. Гелий-неоновый лазер. Схема уровней. Передача энергии возбуждения. Конкуренция линий излучения на волнах 3,39 и 0,63 мкм. Параметры разряда, параметры лазера.

Тема 9. Ионные лазеры. Лазеры на парах металлов.

Краткое содержание темы. Аргоновый лазер. Схема уровней. Двухступенчатое возбуждение. Зависимость от плотности тока разряда. Условие инверсии. Эффект перекачки газа в разряде. Параметры лазера. Гелий-кадмиевый лазер. Пеннинговский механизм ионизации и возбуждения. Схема уровней. Катафорез. Параметры лазера. К. п. д. газоразрядных лазеров. Самоограниченные переходы. К. п. д., энергия, мощность лазеров на самоограниченных переходах. Медный лазер, схема уровней, параметры лазера.

Тема 10. CO₂ - лазеры.

Краткое содержание темы. Молекулярные лазеры. Требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров с высоким КПД. Колебательные спектры молекул. Р-, Q-, R-ветви. Нормальные колебания многоатомных молекул. CO₂-лазер, общие сведения. Молекула CO₂. Механизм инверсии. Роль азота и гелия. Лазеры с продольной прокачкой. Отпаянные лазеры.

Тема 11. Лазеры на основе конденсированных сред.

Краткое содержание темы. Специфика оптической накачки активной среды лазера. Квантовые приборы с оптической накачкой, работающие по - трёхуровневой схеме. Рубиновый лазер. Эрбиевый волоконно-оптический квантовый усилитель. Квантовые приборы, работающие по - четырехуровневой схеме. Неодимовый лазер. Преобразование частоты излучения в нелинейной среде. Перестраиваемые лазеры на красителях. Параметрическая генерация света.

Тема 12. Полупроводниковые лазеры.

Краткое содержание темы. Принцип действия. Инжекционная накачка. ДГС - лазеры. РОС - и ВРПИ - лазеры.

Тема 13. Важнейшие применения лазеров.

Краткое содержание темы. Области применения лазеров. Оптическая голография. Квантовые эталоны и стандарты частоты в СВЧ и оптическом диапазонах.

Тема 14. Важнейшие применения лазеров.

Краткое содержание темы. Резонансное возбуждение частиц. Селективное возбуждение изотопов. Генерация импульсов света ультракороткой длительности.

II Фотоника

Тема 15. Задачи фотоники.

Краткое содержание темы. Направления фотоники. Оптоинформатика. Оптические наноструктуры и их свойства. Фотонные кристаллы.

Тема 16. Источники излучения.

Краткое содержание темы. Полупроводниковые наноструктуры и наноструктуры. Источники фотонов. Материалы и структуры полупроводниковых

устройств. Квантово-размерные лазеры и лазеры с микрорезонаторами: Лазеры на квантовых ямах. Лазеры на квантовых точках. Полупроводниковые вертикально излучающие лазеры. Фотонно-кристаллические лазеры с микрорезонаторами.

Тема 17. Фотоприемники.

Краткое содержание темы. Полупроводниковые детекторы фотонов для оптических приемников. Солнечные фотоэлементы: (Солнечные элементы на основе металлоорганических перовскитов.) Приборы с зарядовой связью.

Тема 18. Модуляторы.

Краткое содержание темы. Электрооптические модуляторы света. Интегрально-оптические модуляторы света. Электропоглощающие модуляторы на основе эффекта Келдыша-Франца и квантоворазмерного эффекта Штарка. Магнитооптические модуляторы света. Акустооптические модуляторы света. Пространственные модуляторы света. Оптроны.

Тема 19. Оптика неоднородных сред.

Краткое содержание темы. Волоконный световод: характеристики, технология изготовления и их применение. Специальные волноводы: Фокон, градан, сельфок. Мутные среды. Интегральная оптика: Активные элементы интегральной оптики и технология интегральной оптики.

Тема 20. Волоконно-оптические системы связи.

Краткое содержание темы. Волоконно-оптические системы связи. Волноводные оптические усилители и лазеры: Волоконный усилитель легированные эрбием и волоконные ВКР-усилители. Нанополяризаторы.

Тема 21. Технологии наноплазмоники.

Краткое содержание темы. Плазмоника: плазмоны и плазмонный резонатор. Наноплазмоника: плазмонный нанолазер. Применения устройств наноплазмоники.

Тема 22. Технологии наноплазмоники.

Краткое содержание темы. Метаматериалы. «Правые» и «Левые» изотропные среды. Оптика материалов с отрицательным показателем преломления. Оптические плазмонные метаматериалы. Применение оптических метаматериалов для волнового обтекания предметов. Метаповерхности. Гибридные наноплазмонные антенны.

Тема 23. Оптическая запись, хранение и считывание информации.

Краткое содержание темы. Магнитные элементы памяти. Электрические элементы памяти. Оптические элементы памяти. Голографические элементы памяти. Запоминающие устройства на одноквантовых джозефсоновских элементах памяти. Сегнетоэлектрические энергонезависимые запоминающие устройства.

Тема 24. Оптические технологии в вычислительной технике.

Краткое содержание темы. Оптические логические устройства на основе оптической бистабильности. Аналоговые оптические вычисления. Аналоговые процессоры. Оптические процессоры нечеткой логики. Оптические нейронно-сетевые компьютеры.

Тема 25. Физические основы квантовой нанотехнологии.

Краткое содержание темы. Квантовая нанотехнология. Теоретические элементы для построения квантового компьютера. Получение запутанных квантовых состояний. Неравенства Белла.

Тема 26. Квантовые вычисления и операции.

Краткое содержание темы. Кубиты. Вычисление на квантовом компьютере. Однокубитовые вентили. Трехмерная визуализация кубита. Логические элементы, действующие на два кубита. Логические элементы, действующие на три кубита. Универсальные квантовые вентили.

Тема 27. Квантовые вычисления и операции.

Краткое содержание темы. Теорема о запрете клонирования. Квантовая телепортация состояний. Квантовая коммуникация. Квантовая криптология. Квантовые алгоритмы.

Тема 28. Квантовый компьютер.

Краткое содержание темы. Идеальный квантовый компьютер. Сравнение квантового компьютера с оптическим компьютером. Физические проблемы квантовых компьютеров. Общие требования для реализации квантового компьютера. Квантовый компьютер на основе спектрометра ядерного магнитного резонанса. Квантовые компьютеры на различной физической основе.

9. Текущий контроль по дисциплине

В процессе изучения дисциплины предусмотрены несколько форм контроля. Оценка знаний, умений и навыков деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций по дисциплине, проводится в форме текущего контроля.

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в пятом семестре проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Основные понятия физики лазеров и квантовой электроники. Историческая справка.
2. Развитие физики лазеров в Томском госуниверситете и в г. Томске.
3. Спонтанное и вынужденное излучение, поглощение.
4. Принцип работы лазера.
5. Схема устройства лазера. Схемы накачки. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазера.
6. Общая теория оптического квантового усилителя и генератора. Двух- и трехуровневые лазеры.
7. Общая теория оптического квантового усилителя и генератора. Четырехуровневый лазер.
8. Оптические резонаторы. Типы колебаний. Модовая структура.
9. Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Открытый резонатор. Конфигурации зеркал.
10. Пространственные и временные характеристики лазерного излучения. Режимы работы лазера: свободный, модуляции добротности, синхронизации мод.

11. Когерентность лазерного излучения. Фокусировка.
12. Угол расходимости пучка. Коллимация лазерного пучка.
13. Поляризация. Угол Брюстера. Резонатор и ширина линии. Спектральный состав лазерного излучения.
14. Компоненты лазеров и вспомогательные устройства. Зеркала. Поляризаторы. Материалы для окон.
15. Модуляторы добротности. Нелинейные оптические элементы.
16. Классификация лазеров с учетом различных методов накачки.
17. Газовые лазеры. Особенности газообразной активной среды. Основные методы возбуждения (электрический разряд, газодинамика, химическое возбуждение, фотодиссоциация, оптическая накачка).
18. Гелий-неоновый лазер. Схема уровней. Передача энергии возбуждения. Параметры разряда, параметры лазера.
19. Лазер на парах меди. Механизм генерации и основные характеристики лазеров на самоограниченных переходах. Трехуровневая модель. Режим насыщенной мощности.
20. Лазеры на парах металлов. Способы введения паров металлов. Управление параметрами Cu-лазера путем воздействия на электронную компоненту плазмы.
21. Ионные лазеры. Аргоновый лазер. Схема уровней.
22. Ионные лазеры. Конструкция активных элементов.
23. Лазеры на ионах Ba, Ca, Sr
24. He-Cd-лазер. Параметры лазера. Пеннинговский механизм ионизации и возбуждения. Схема уровней. Катафорез.
25. Лазеры с оптической накачкой. Лазер на парах ртути с оптической накачкой.
26. CO₂-лазер. Параметры лазера. Накачка в CO₂ – лазере. Вращательная структура.
27. CO₂-лазеры с медленной и быстрой продольной прокачкой. Отпаянные лазеры. Волноводные лазеры.
28. CO₂-лазеры с поперечной прокачкой. CO₂ - лазеры атмосферного давления с поперечным возбуждением. Газодинамический CO₂ – лазер.
29. Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Физический принцип действия лазера на АИГ:Nd³⁺ в режимах свободной генерации и модуляции добротности резонатора.
30. Излучатели твердотельных лазеров.
31. Волоконные лазеры.
32. Диодные лазеры.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «незачтено».

«зачтено» - даны полные ответы на вопросы, студент продемонстрировал глубокое овладение лекционным материалом.

«незачтено» - в ответах допущены ошибки, ответ выстроен не логично, сумбурно.

Экзамен в шестом семестре проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Оптические системы лазерной обработки.
2. Поглощение излучения металлами и их оптические свойства.
3. Физическая модель лазерной обработки.

4. Лазерная обработка материалов: взаимосвязь между обработкой материалов и параметрами лазеров.
5. Технологические лазеры.
6. Лазерное излучение в обработке материалов.
7. Моделирование лазерной обработки.
8. Лазерная микрообработка.
9. Лазерные системы для обработки материалов.
10. Применение лазеров в обработке материалов.
11. Лазерная резка.
12. Лазерная сварка.
13. Преимущества лазерной обработки материалов по сравнению с другими способами.
14. Влияние степени черноты ϵ различных металлов на параметры сварки и резки металлов.
15. Параметры лазерного излучения, используемого для резки различных марок и толщин металлов.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

| Уровень освоения | оценка |
|---|----------------------|
| Студент показал отличные знания об устройстве и принципе работы лазеров. Успешно выполнил лабораторные работы и практические задания по дисциплине. | отлично |
| При ответе допущены незначительные ошибки и/или неточности. Успешно выполнены лабораторные работы и практические задания по дисциплине. | хорошо |
| При ответе допущены грубые ошибки. Выполнены лабораторные работы, практические задания сданы. | удовлетворительно |
| Незнание значительной части программного материала, неумение даже с помощью преподавателя сформулировать правильные ответы на поставленные вопросы, невыполнение лабораторных и практических работ. | не удовлетворительно |

11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
 1. Л.В. Тарасов, Четырнадцать лекций о лазерах / Издательство: ЛИБРОКОМ, 2011. – 174 с.
 2. О. Звелто, Принципы лазеров / Пер. под науч. Ред. Т.А. Шмаонова. 4-ое изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 720 с.
 3. Айхлер Ю., Айхлер Г.-И. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Серия: МИР физики и техники // М.: Техносфера, 2008. — 442 с.
 4. Менушенков, А.П. Физические основы лазерной технологии: учебное пособие для вузов. Учебные пособия / А.П. Менушенков, В.Н. Неволин, В.Н. Петровский. - М. : НИЯУ МИФИ, 2010. - 212 с.

5. Вакс, Е.Д. Практика прецизионной лазерной обработки. / Миленький М.Н., Сапрыкин Л.Г. – М.: Техносфера, 2013. – 710 с.

б) дополнительная литература:

1. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988.
 2. А.Н. Солдатов, Е.Л. Латуш, Г.Д. Чеботарев, Н.А. Юдин, А.В. Васильева, Ю.П. Полуин, О.О. Пруцаков, Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция/под ред. А.Н. Солдатова, Е.Л. Латуша. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. - 520 с.
 3. В.А. Малышев, Основы квантовой электроники и лазерной техники / Издательство: Высшая школа, 2005. - 543 с.
 4. В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Т. Червяков, Е.Б. Яковлев, Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика/Под ред. В.И. Конова. – М.: Физматлит. 2008. – 312 с.
 5. Борейшо, А.С. Лазеры: устройство и действие. [Электронный ресурс] : Учебные пособия / А.С. Борейшо, С.В. Ивакин. — Электрон.дан. — СПб. : Лань, 2016. — 304 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72972> — Загл. с экрана.
 6. Земский, В.И. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. [Электронный ресурс] : Монографии / В.И. Земский, Ю.Л. Колесников, И.К. Мешковский. — Электрон.дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2005. — 176 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/43763> — Загл. с экрана.
 7. Голубенко, Ю.В. Волоконные технологические лазеры. [Электронный ресурс] : Учебные пособия / Ю.В. Голубенко, А.В. Богданов, Ю.В. Иванов. — Электрон.дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 50 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/52342> — Загл. с экрана.
- Шахно Е. А. Аналитические методы расчета лазерных микро– и нанотехнологий. Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 77 с.
- Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989.
- Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология. Основы лазерного термоупрочнения сплавов, т. 6. – М.: Высшая школа, 1988.
- Серебряков, В.А. Лазерные технологии в медицине. — СПб. : НИУ ИТМО, 2009. — 266 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru
2. Вейко, В.П. Введение в лазерные технологии. [Электронный ресурс] / В.П. Вейко, А.А. Петров. — Электрон.дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2009. — 143 с.
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон.дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
4. OSA Publishing [Electronic resource] / The Optical Society of America (OSA). – Electronic data. – Washington, USA, 2016. – URL: <https://www.osapublishing.org/>
5. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of
6. Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- программным обеспечением для обработки изображений CX31, CarlZeiss

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Лаборатории, оборудованные:

- 2 лазерно-оптических стенда;
- микроскоп в комплекте с программным обеспечением для обработки изображений CX31, CarlZeiss
- лазерный комплекс с дискретной и непрерывной перестройкой длины волны (Модель «ЛИТТ-Дуе»), ООО «ЛИТТ» (сертификат соответствия);
- лазерный комплекс «Минимаркер 10 М»;
- лазерный комплекс «Speedy 100 R»;
- лазерный проектор GS-06W-Air;
- осциллограф Tektronix TDS 3014B;
- коммуникационный модуль TDS3GV;
- щуп токовый P6022 (60MHZ,250A, 5 FT);
- щуп высоковольтный P6015A (75МГц, 40КВ, 2,5м кабель);
- пакет для анализа осциллограмм WaveStar, Tektronix;
- спектрометр в области от 0,5 до 1,1 мкм;
- измеритель оптической мощности (термоголовка, дисплей), OPHIR Optronics;
- анализатор профиля пучка, OPHIR Optronics;
- анализатор спектра излучения, OPHIR Optronics;
- спектрометр FSD-8.

15. Информация о разработчиках

Юдин Николай Александрович, доктор технических наук, профессор каф. управления инновациями ТГУ;

Реймер Игорь Викторович, старший преподаватель каф. управления инновациями ТГУ;

Васильева Анна Викторовна, старший преподаватель каф. управления инновациями ТГУ