

Современные тенденции организации лабораторных практикумов по изучению принципов фотоники, спектрометрии и квантовой электроники

В. А. Фираго, В. М. Стецик, О. Р. Людчик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: firago@bsu.by

На примере циклов лабораторных работ, поставленных на кафедрах квантовой радиофизики и оптоэлектроники и физической электроники и нанотехнологий БГУ, рассмотрены современные тенденции и принципы организации практикумов по специальным дисциплинам, обеспечивающих приобретение необходимых практических навыков проведения исследовательской работы и подтверждения изучаемых теоретических положений.

Ключевые слова: лабораторный практикум; современные тенденции; изучение принципов, формирование навыков, оптимизация обучения.

Current trends in organizing laboratory workshops on the principles of photonics, spectrometry, and quantum electronics

V. A. Firago, V. M. Stecik, O. R. Lyudchik

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: firago@bsu.by

Using the example of laboratory work cycles carried out at the Departments of Quantum Radiophysics and Optoelectronics and Physical Electronics and Nanotechnology of BSU, modern trends and principles of organizing workshops for special disciplines are considered, ensuring the acquisition of the necessary practical skills for conducting research work and confirming the theoretical propositions studied.

Keywords: laboratory workshop; current trends; studying principles, developing skills, optimizing learning.

Введение

Студенты за время обучения в бакалавриате по специальностям, относящимся к фотонике и лазерной технике, должны освоить ряд дисциплин, освещающих принципы работы оптико-электронных систем [1] и устройств квантовой электроники [2], и получить практические навыки работы с современными оптико-электронными устройствами, оптическим оборудованием и приборами квантовой электроники.

Для углубленного понимания работы устройств современной фотоники, лазерной техники и приборов квантовой электроники в первую очередь необходимо освоить: принципы возникновения и формирования световых потоков, их взаимодействия с веществом [3], детектирования и спектрального анализа принимаемых потоков фотонов, а также дальнейшей обработки регистрируемых полей светового излучения [1]. Поэтому, кроме классических дисциплин «Квантовая радиофизика», «Оптоэлектроника», для углубленного понимания необходимо освоить ряд специальных дисциплин, касающихся как детектирования, приема и обработки

оптического излучения, источников его формирования, так и взаимодействия когерентного и некогерентного излучения с различными материалами и средами [3].

На кафедре квантовой радиофизики и оптоэлектроники БГУ в рамках современных требований сформирован кластер соответствующих дисциплин, при оптимизации которых необходима модернизация соответствующих лабораторных практикумов. Эти дисциплины распределены по модулям: «Измерение оптических полей», «Лазерные измерительные системы», «Информационные технологии в фотонике», «Элементная база фотоники». Специальные дисциплины «Лазерные системы в аэрокосмических технологиях», «Квантовая радиофизика» и «Системы телекоммуникаций» [4] распределены по другим лекционным модулям, читаемых на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ. На кафедре физической электроники и нанотехнологий изучается специальная дисциплина «Интеллектуальные лазерные технологии» [5]. Перечень этих дисциплин сформирован на основе современных требований к процессу обучения в университетах Республики Беларусь и практико-ориентированного подхода к преподаванию, когда кроме классических фундаментальных дисциплин, студенту необходимо освоить актуальные направления развития современной техники и науки и приобрести соответствующие практические навыки и компетенции. Например, кроме освоения дисциплин по оптике, фотонике и лазерной технике современный специалист должен понимать, как работают современные автоматизированные лазерно-технологические системы, а также системы наблюдения, обнаружения и распознавания, в том числе аэровоздушного и околоземного орбитального позиционирования.

1. Цель и принципы организации кластера лабораторных практикумов

Как показывает обзор литературы, для современных тенденций при проведении лабораторных практикумов характерно: усиление практико-ориентированности и исследовательского подхода, внедрение цифровых технологий, переход от выполнения отдельных заданий к комплексу связанных заданий, требующих интеграции различных навыков.

Цель созданного кластера специальных дисциплин и лабораторных практикумов – провести студентов по лестнице нарастающего освоения принципов [1–8]:

- формирования квантовых потоков классическими (тепловые источники, газоразрядные и дуговые лампы) и квантовыми полупроводниковыми источниками излучения;
- взаимодействия световых потоков и лазерного излучения с веществом;
- работы фотоприемников и фотоприемных устройств на одиночных фотоприемниках;
- архитектуры построения линеек и матриц приемников излучения различного спектрального диапазона;
- спектрометрии;
- использования лазерных диодов в системах оптической обработки потоков информации и интегральной оптики, а также в системах хранения информации;
- работы оптоволоконной техники, в том числе и в системах современных линий связи и Интернета;

- применения лазерных диодов в светодальнометрии и устройствах измерения скорости;
- работы устройств оптической когерентной томографии;
- использования полупроводниковых источников излучения в системах накачки твердотельных и оптоволоконных лазеров;
- применения полупроводниковых излучателей и фотоприемных устройств в системах медицинской диагностики и терапии;
- использования лазерной и светодиодной техники в аналитике и контроле состава аэродисперсных сред;
- использования лазерных источников ультрафиолетового диапазона спектра, позволяющих минимизировать размеры сфокусированного пучка излучения, в оборудовании для микроэлектронной промышленности;
- применения интерферометрии при определении положения и перемещения объектов и узлов в микроэлектронике;
- использования лазерных диодов с управляемыми параметрами излучения в интерферометрических блоках оборудования микроэлектронной промышленности;
- применения имеющихся и проектирования новых лазерно-технологических систем и лазерных технологий для создания новых материалов, элементов, приборных структур и устройств радиоэлектроники, в том числе микро- и наноэлектроники;
- использования современного интеллектуального лазерного оборудования;
- применения современного диагностического оборудования и приборов при исследовании свойств лазерно-модифицированных материалов и структур.

Принципы, которые закладывались при разработке практикумов:

- наглядность, позволяющая визуально убедиться в изучаемых принципах оптики (отражение, преломление, дисперсия и дифракция), квантовой электроники (формирование естественных и когерентных потоков излучения и их модуляция) и построения оптико-электронных устройств (схема системы измерений, расчеты принимаемых потоков, их преобразования в электрические сигналы и последующей обработки);
- учет при постановке комплексных заданий на выполнение цикла лабораторных работ цели и задач, предусмотренных программой изучаемой дисциплины;
- с целью экономии времени студентов на устранение ошибок, вызываемых человеческим фактором, максимальное применение компьютерной техники для упрощения проведения измерений, расчетов и построения графических зависимостей;
- оформление отчетов с использованием текстового редактора Word, приложения MathType для набора формул и системы компьютерной математики Matlab, облегчающей проведение расчетов и оформление графических зависимостей;
- основательно обдуманное построение контрольных вопросов при защите результатов, полученных при выполнении практикума, чтобы студенты при подготовке смогли полностью уяснить комплекс изучаемых вопросов.

Отдельно надо отметить, что при подготовке методических пособий по проведению лабораторных практикумов в их обзорной части обязательно должны приводиться сведения о последних достижениях в рассматриваемой научно-технической области знаний, чтобы студенты видели необходимость освоения практиче-

ских навыков и перспективы дальнейшего развития рассматриваемых методов и техники проведения измерений.

2. Примеры наполнения поставленных лабораторных практикумов

Лабораторный практикум – это мост, позволяющий перейти от теории к ее применению в повседневной профессиональной деятельности. Кроме усвоения учебного материала, он помогает приобрести навыки исследователя и экспериментатора, т. е. практического опыта обращения с оборудованием, программным обеспечением и формирования самостоятельных выводов. Поэтому лабораторный практикум - существенный элемент учебного процесса, и его наполнение определяет эффективность обучения, что требует тщательного выбора содержания практикума. Например лабораторный практикум по дисциплине «Детектирование и спектральный анализ оптического излучения» рассчитан на 28 учебных часов и содержит 5 лабораторных работ:

1. Исследование и моделирование характеристик фотоприемного устройства на основе фотодиода и трансимпедансного усилителя;
2. Исследование параметров видеокамер Basler;
3. Изучение принципов работы термографической техники разного спектрального диапазона;
4. Изучение принципов спектрометрии на основе призм и дифракционных решеток;
5. Принципы и техника градуировки спектрометрической аппаратуры.

Внедрение принципа наглядности при создании этого практикума позволяет упростить студентам (за счет зрительных ассоциаций) процесс запоминания изучаемого материала, а использование вычислительной техники – экономить время на проведение расчетов и построение необходимых графических зависимостей.

В состав лабораторного практикума по специальным дисциплинам «Системы полупроводниковой квантовой электроники» и «Основы оптических технологий в микроэлектронике» включены следующие лабораторные работы:

1. Изучение принципов формирования интерференционных картин различными источниками излучения;
2. Изучение принципов работы и методов юстировки интерферометра Майкельсона;
3. Методика юстировки плеч скомпенсированного интерферометра с погрешностью менее 1 мкм;
4. Регистрация и определение параметров периодических колебаний объектов в микро и нанодиапазонах смещений;
5. Исследование параметров полупроводниковых источников излучения с перестраиваемой когерентностью;
6. Принципы дальнометрии с когерентным приемом лазерного излучения;
7. Изучение закономерностей перестройки частоты излучения лазерных диодов при изменении тока накачки и температуры излучающего кристалла с использованием интерферометра Майкельсона;
8. Изучение принципов измерения расстояний при когерентном приеме отраженного излучения полупроводниковых лазеров.

Изучение методов когерентного приема лазерного излучения позволяет студентам освоить практические навыки по повышению точности определения изменений частоты излучения, неравномерности гладких поверхностей (их отклонения от плоскостности), а также осознанно применять полупроводниковые лазерные источники в системах: накачки твердотельных и оптоволоконных лазеров, лазерной диодной спектроскопии, интерференционных измерений скорости и амплитуды смещений и параметров вибраций поверхностей вплоть до нанометрового диапазона.

Надо отметить, что содержание кластера практикумов, поставленных на кафедре квантовой радиофизики и оптоэлектроники и физической электроники и нанотехнологий БГУ, позволяет студентам бакалавриата получить теоретические знания и практические навыки и компетенции, необходимые в их профессиональной деятельности на предприятиях оптико-электронной промышленности РБ и в научно-исследовательских учреждениях.

Заключение

Обучение практическим навыкам и построение лабораторных практикумов по изучаемым дисциплинам необходимо вести на основе изложенных принципов: наглядность, комплексность и практико-ориентированность, обязательное применение компьютерной техники, использование современных пакетов программ для проведения экспериментов и оформления отчетов, оптимизация содержания контрольных вопросов. Важной составляющей при получении студентами практических навыков является использование в практикумах нового приборного оснащения и современной элементной базы квантовой электроники.

Библиографические ссылки

1. *Фираго В. А.* Цифровая термография. Минск : БГУ, 2019.
2. *Манак И. С., Фираго В. А.* Системы полупроводниковой квантовой электроники – Минск: БГУ, 2007.
3. *Фираго В. А.* Контроль газового состава сред методами лазерной диодной и светодиодной абсорбционной спектроскопии / В. А. Фираго, И. С. Манак, В. Вуйчик. – Минск : Акад. Упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2006.
4. *Фираго В. А.* Системы телекоммуникаций : учебное пособие. Минск, БГУ, 2013.
5. Лазерный комплекс на основе импульсного лазера с диодной накачкой для научно-учебной работы студентов / О. Р. Людчик [и др.], // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. VI Междунар. науч. конф., Минск, 8-9 окт. 2014 г. / редкол.: В. Б. Оджаев (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2014. 268 с. —(Вузовская наука, пром-сть, междунар. сотрудничество). С. 248–250.
6. Monitoring of Laser Processing of Structural Materials Using Thermal Imaging and Spectral Technology / V. A. Firago [et al.] // Journal of Applied Spectroscopy. 2022, V. 89, № 4. P. 731-741.
7. Diffuse Reflectance Spectrophotometers Based on C12880MA and C11708MA Mini-Spectrometers Hamamatsu / V. A. Firago [et al.] // Devices and Methods of Measurements, 2022, Vol. 13, № 2.
8. Investigation of the Possibility of Using Microspectrometers Based on CMOS Photodiode Arrays in Small-Sized Devices for Optical Diagnostics / O. Hotra [et al.] // Sensors, 2022, Vol. 11, 4195.