

Внедрение в образовательный процесс научных результатов центра «Диагностические системы» Института физики НАН Беларуси

И. В. Балыкин¹, А. А. Рыжевич^{1, 2}, Т. А. Железнякова², А. Г. Смирнов¹

¹Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск,

e-mail: a.ryzhevich@dragon.bas-net.by

²Белорусский государственный университет, Минск

В работе приведено краткое описание ряда научных результатов, полученных в центре «Диагностические системы» Института физики НАН Беларуси и внедренных в образовательный процесс для студентов первой ступени обучения, обучающихся по специальности 1-31 04 02 Радиофизика на факультете радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета. Научные результаты вошли в содержание нескольких тем спецкурса «Современные проблемы квантовой радиофизики», что позволит предоставить студентам знания о новейших направлениях квантовой радиофизики, обеспечить понимание ими научных основ для создания и применения новой лазерной техники для науки, производства, медицины.

Ключевые слова: внедрение в образовательный процесс, обучение, квантовая радиофизика

Введение

В ряде высших учебных заведений Республики Беларусь, в том числе, в Белорусском государственном университете, существует весьма полезная практика внедрения новых научных результатов в образовательный процесс. Факт внедрения каждого конкретного результата официально закрепляется соответствующим актом о практическом использовании результатов исследования, форма которого утверждена Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь (ВАК). Внедрение в образовательный процесс новейших научных результатов позволяет предоставлять студентам современные знания по их специальности, повышая тем самым качество их образования и улучшая степень их адаптации к производственным процессам различного рода. Естественно, что производить внедрение наиболее удобно одному либо нескольким авторам результата, непосредственно принимающим участие в образовательном процессе в качестве преподавателя либо ассистента.

Данная работа посвящена внедрению в образовательный процесс четырех научных результатов [1–8] центра «Диагностические системы» Института физики НАН Беларуси. Эти результаты используются при проведении лекционных и лабораторных занятий по учебной дисциплине «Современные проблемы квантовой радиофизики» для студентов первой ступени обучения факультета радиофизики и компьютерных технологий (РФИКТ) Белорусского государственного университета (БГУ), обучающихся по специальности 1-31 04 02 Радиофизика в соответствии с учебной программой учреждения высшего образования №УД-9519/уч. (далее для краткости именуется УП), разработанной доцентом кафедры квантовой радиофизики и оптоэлектроники РФИКТ БГУ А.А. Рыжевичем и зарегистрированной 30.12.2020.

1. Использование разработки «Автоматизированный оптический профилометр с наклонно падающим сканирующим лазерным пучком»

Использование данного результата [1], полученного А.А. Рыжевичем, И.В. Балыкиным, Т.А. Железняковой при выполнении задания 1.1.01 "Разработка физических основ распространения и преобразования квазибездифракционных вихревых световых пучков нового типа в анизотропных, неоднородных и рассеивающих средах и создание на этой основе инновационных диагностических оптико-электронных устройств" (№ гос. рег. 20160091) Государственной программы научных исследований

"Фотоника, опто- и микроэлектроника" (2015–2020 г.г.) для проведения лекционных и лабораторных занятий по теме 2.11 УП «Принципы создания и функционирования оптических профилометров различных типов» подтверждено актом №2.4/126 от 09.06.2021.

В рамках лекционных занятий студенты получают знания об автоматизированном профилометрическом устройстве с наклонным сканирующим лазерным пучком (рис. 1), предназначенном для построения профилограммы поверхности исследуемого объекта с отклонениями от нулевого уровня не более 10 мм с учетом выявленных особенностей формирования изображения в схеме с наклонным падением сканирующего лазерного пучка. Программный комплекс для управления данным профилометрическим устройством обеспечивает регистрацию профилограмм в автоматическом режиме, проведение центровки (установления оптимального взаимного расположения изделия и сканирующей головки) и калибровки (установления зависимости между возвышением профиля и видом регистрируемого распределения интенсивности), а также позволяет управлять позиционированием системы в ручном режиме. На лабораторных занятиях студенты знакомятся с оптической схемой устройства и конструкцией оптического блока (рис. 2, б) профилометра.

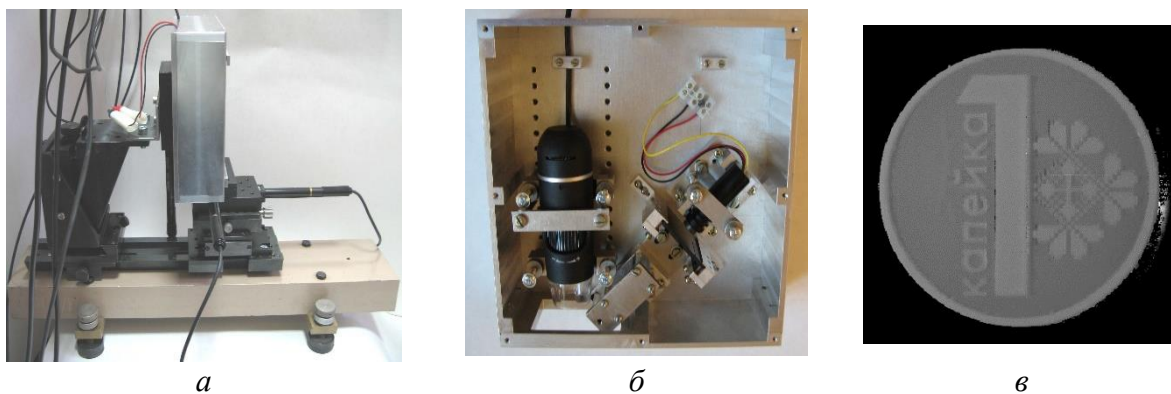


Рис. 1. – Профилометрическое устройство с наклонным сканирующим пучком: а – оптико-механический блок; б – конструкция оптического блока; в – полутоновая профилограмма тестового объекта.

2. Использование разработки «Установка определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин»

Использование данного результата [2], полученного А.Г. Смирновым, А.А. Рыжевичем, И.В. Балыкиным при выполнении задания 5.4 «Разработка установки определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин» (№ гос. рег. 20163820) научно-технической программы Союзного государства «Разработка критических стандартных технологий проектирования и изготовления изделий наноструктурной микро- и оптоэлектроники, приборов и систем на их основе и оборудования для их производства и испытаний» («Луч») для проведения лекционных и лабораторных занятий по теме 2.12 УП «Принципы создания и функционирования установок для оптической диагностики световых полей, материалов и готовых изделий» подтверждено актом №2.4/127 от 09.06.2021.

В рамках лекционных занятий студенты получают знания о принципах работы лазерно-оптической установки, предназначенной для регистрации и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин (Установка ОАТДППП), включая пластины с эпитаксиальным слоем на подложке арсенида галлия, сапфира, и карбида кремния, из которых впоследствии изготавливаются изделия наноструктурной СВЧ- и

оптоэлектроники (рис. 2, *а, б*). Установка в автоматическом режиме обеспечивает обнаружение и локализацию дефектов с размерами от 0,25 до 20 мкм, включая дефекты роста, микротрещины, царапины, шероховатость и пыль, а также производит статистическую обработку результатов измерений с подсчётом количества и анализом типов и размеров дефектов (рис. 2, *в*). По своим техническим параметрам и набору функциональных возможностей установка соответствует мировому уровню диагностического оборудования, применяемого в сфере производства твердотельной электроники. На лабораторных занятиях студенты знакомятся с конструкцией и уникальной оптической схемой установки, обеспечивающей ее работу в двух разных режимах: детектирования микрообъектов и микровизуализации областей с дефектами.

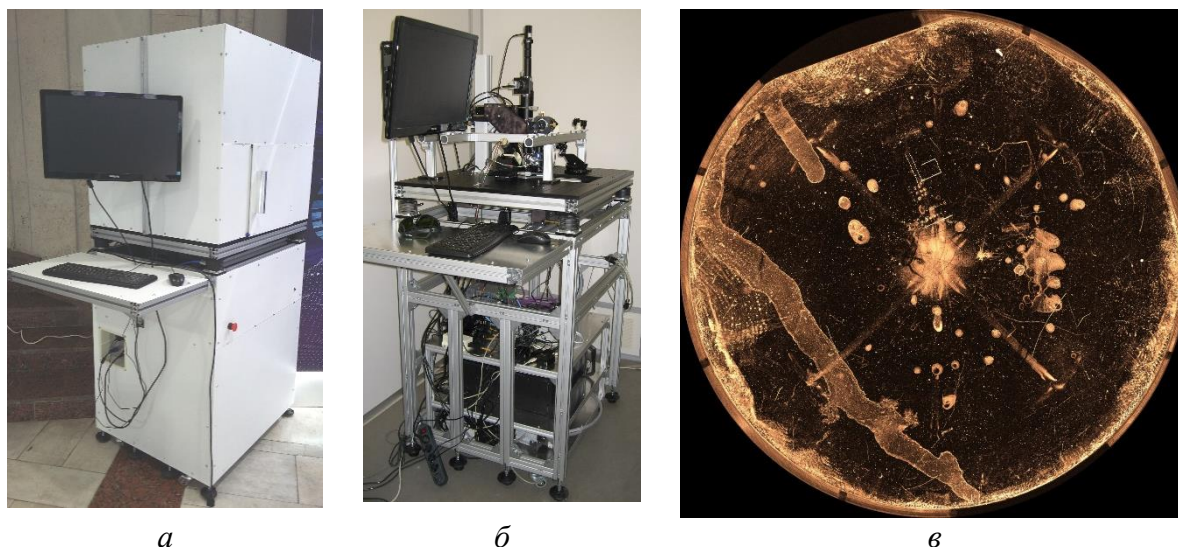


Рис. 2. – Установка ОАТДППП: *а* – общий вид установки; *б* – установка без защитного кожуха; *в* – карта дефектов тестового образца.

3. Использование разработки «Закономерности формирования, свойства и возможности применения бесселевых световых пучков нулевого, первого и второго порядков»

Использование данного результата [3–6], полученного А.А. Рыжевичем, И.В. Балыкиным, Т.А. Железняковой при выполнении задания 1.1.01 "Разработка физических основ распространения и преобразования квазибездифракционных вихревых световых пучков нового типа в анизотропных, неоднородных и рассеивающих средах и создание на этой основе инновационных диагностических оптико-электронных устройств" (№ гос. рег. 20160091) Государственной программы научных исследований "Фотоника, опто- и микроэлектроника" (2015–2020 г.г.) для проведения лекционных и лабораторных занятий по теме 3.1 УП «Классификация световых пучков и полей. Методы формирования и управления, применение световых пучков: Бесселевы световые пучки нулевого и высших порядков. ...» подтверждено актом №2.4/128 от 09.06.2021.

На лекционных занятиях студенты получают сведения о бесселевых световых пучках (БСП) с аксиально симметричным распределением интенсивности в поперечном сечении, которые бывают необходимы для оптической профилометрии объектов, имеющих форму фигур вращения. Световые поля бесселева типа нулевого порядка, обладающие осевыми максимумами интенсивности малого поперечного размера, могут успешно применяться в задачах, требующих точечного воздействия светового

излучения. Световые пучки, имеющие узколокализованные, периодические либо квазипериодические распределения интенсивности, перспективны для контурной лазерной обработки материалов, управления частицами в био- и нанотехнологиях, локального воздействия на биоткани в диагностике, терапии либо хирургии, оптической диагностике биологических тканей. На лабораторных занятиях студенты экспериментально изучают методы формирования БСП и исследуют их структуру.

4. Использование разработки «Методы фотонной сушки токопроводящих красок и оборудование для их реализации»

Использование данного результата [4], полученного А.А. Рыжевичем, И.В. Балыкиным, Т.А. Железняковой при выполнении НИР «Фотонная сушка токопроводящих красок. Шифр «ФСТК», № госрегистрации 20162219, договор № 531 «ФСТК» от 20 апреля 2016 г. для проведения лекционных и лабораторных занятий по теме 2.4 УП «Фотонная сушка токопроводящих красок.» подтверждено актом №2.4/129 от 09.06.2021.

На лекционных занятиях студенты получают знания о принципах работы установок на основе импульсного твердотельного лазера на длинах волн 1,06 мкм и 0,532 мкм и непрерывно перестраиваемого в спектральных диапазонах 350 – 500 нм, 700 – 1000 нм, а также на основе мощной импульсной ксеноновой лампы, предназначенных для практической реализации оптимальных методов обработки токопроводящих красок, содержащих наночастицы меди, с целью создания на бумажном носителе тонких дорожек с электропроводностью, близкой к электропроводности чистого металла, необходимых, в частности, при производстве импортозамещающих RFID-меток для защиты и контроля ценных изделий и документов. На лабораторных занятиях студенты изучают конструкцию излучателя на основе мощной импульсной ксеноновой лампы.

Заключение

Использование новейших научных результатов центра «Диагностические системы» на лекционных и лабораторных занятиях студентов РФИКТ БГУ способствует более высокому качеству их профессиональной подготовки по специальности «Радиофизика».

Благодарности

Авторы благодарят директора Института физики НАН Беларуси М.В. Богдановича и руководителя центра «Диагностические системы» профессора В.Н. Белого за содействие в организации занятий со студентами факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета с использованием научно-технических результатов Института.

Литература

1. Балыкин, И.В., Рыжевич А.А., Железнякова, Т.А. Смирнов А.Г. Автоматизированный профилометр с наклонно падающим сканирующим лазерным пучком. Квантовая электроника (КЭ'2019): матер. XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 18–22 ноября 2019 г. / БГУ; редкол.: М.М. Кугейко [и др.]. Минск, 2019. С. 179–180.
2. Прислопский, С.Я., Смирнов А.Г., Станкевич В.В., Балыкин И.В., Рыжевич А.А. Оптимизация установки для определения и анализа точечных дефектов на поверхности полупроводниковых пластин. Приборостроение – 2019: материалы 12-й

- международ. науч.-техн. конф., Минск, 13-15 ноября 2019 г. . БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. Минск, 2019. С. 463–464.
3. Рыжевич, А.А., Солоневич С.В., Хило Н.А., Балыкин И.В. Закономерности преобразования конических лазерных пучков в двуосном кристалле. Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. 2016. № 1. С. 107–116.
 4. Рыжевич, А.А., Балыкин И. В., Железнякова Т. А. Формирование бесселева светового пучка с помощью полупроводникового лазерного модуля. Полупроводниковые лазеры и системы на их основе: Сборник статей 11-го Белорусско-Российского семинара, Минск, Беларусь; 22–26 мая 2017 г. Минск, 2017. С. 59–62.
 5. Balykin I. V., Ryzhevich A. A. , Mashchenko A. G., Leparskii V. E., Khilo N. A. Bessel Light Beam of the Second Order Formation with Uniaxial Crystal. Журнал прикладной спектроскопии. 2016. Том 83, спецвыпуск 6-16, ч. 3. С. 453–454.
 6. Рыжевич, А.А., Балыкин И. В., Железнякова Т. А. Параметры качества бесселевых световых пучков нулевого порядка. Журнал прикладной спектроскопии. 2018. Т. 85, № 1. С. 144–153.
 7. Рыжевич, А.А., Железнякова Т. А., Машченко А. Г., Смирнов А. Г., Гореленко А. Я., Захарич, М. П. Установка для фотонной сушки токопроводящих красок на основе импульсной ксеноновой лампы. Квантовая электроника (КЭ'2017): матер. XI Международ. науч.-техн. конф., Минск, 13–17 ноября 2017 г / БГУ; редкол.: М.М. Кугейко [и др.]. Минск, 2017. – С. 244–245.
 8. Рыжевич, А.А. Железнякова Т. А., Митьковец А. И., Гореленко А. Я., Захарич, М. П. Экспериментальная установка для исследования процессов лазерного спекания токопроводящих красок. Квантовая электроника (КЭ'2017): матер. XI Международ. науч.-техн. конф., Минск, 13–17 ноября 2017 г / БГУ; редкол.: М.М. Кугейко [и др.]. Минск, 2017. С. 246–247.

Application of the scientific results of the Centre «Diagnostic Systems» of the Institute of Physics of NAS of Belarus to the educational process

I.V. Balykin¹, A.A. Ryzhevich^{1,2}, T.A. Zheleznyakova², A.G. Smirnov¹

¹ *B. I. Stepanov Institute of Physics of NAS of Belarus, Minsk;*
e-mail: a.ryzhevich@dragon.bas-net.by;

² *Belarusian State University, Minsk*

In the paper we provide a brief description of a number of scientific results obtained at the “Diagnostic Systems” Center of Institute of Physics of NAS of Belarus and introduced into the educational process for first-stage students enrolled in the specialty 1-31 04 02 Radiophysics at the Faculty of Radiophysics and Computer Technologies of the Belarusian State University. Obtained scientific results were included in the content of several topics of the special course "Modern problems of quantum radiophysics", which will provide students with knowledge about the latest trends in quantum radiophysics and help them develop an understanding of the scientific foundations for the creation and application of new laser technology for science, production, medicine.

Keywords: application to the educational process, education, quantum radiophysics