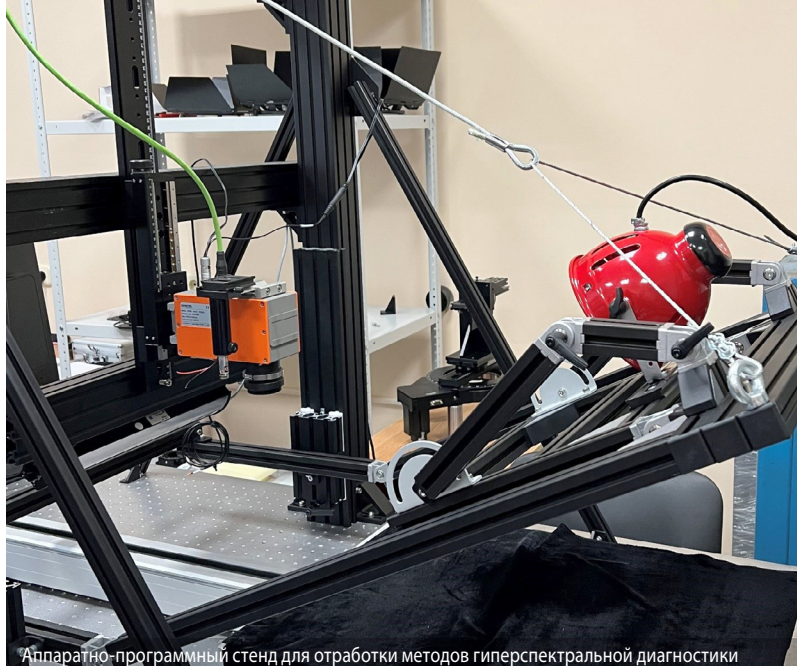




Гиперспектральный конфокальный микроскоп



Аппаратно-программный стенд для отработки методов гиперспектральной диагностики



Максим Богданович,
генеральный директор ГНПО «Оптика,
оптоэлектроника и лазерная техника»
НАН Беларуси, кандидат физико-
математических наук

Точки роста микроэлектроники и лазерной техники

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» — одна из ведущих научных организаций в области оптоэлектронного и лазерно-оптического приборостроения. В объединении довольно успешно и динамично развиваются перспективные направления современной физики, которые будут оказывать значительное влияние на деятельность организации в ближайшем будущем, являясь в некотором роде точками ее роста. Прежде всего это касается волоконно-оптических радиофотонных устройств и систем, в которых находят применение оптические методы генерации, передачи и обработки СВЧ-сигналов. Данные подходы определяют основные преимущества по отношению к традиционным, полностью радиоэлектронным решениям.

По данному направлению в объединении довольно успешно функционирует научная школа, несколько ярких результатов работы которой стоит отметить. Один из них связан с двумерной физико-топологической моделью для численного анализа и оптимизации параметров фотодиодов, учитывающей как внутренние параметры гетероструктуры, так и влияние на нее оптического излучения, характеристик окружающей среды, а также внешнюю электрическую цепь. Полученные в результате моделирования данные обусловили разработку ряда СВЧ-фотодиодных модулей с выходной мощностью вплоть до 30 ГГц, обеспечивающей свыше 10 мВт, что дает возможность применять их без СВЧ-усилителей в волоконно-оптических линиях передачи и системах распределения СВЧ-сигналов с высоким динамическим диапазоном, что соответствует результатам мирового уровня. Это в свою очередь стало основой для создания волоконно-оптических линий с частотой до 12 ГГц с прямой модуляцией и до 30 ГГц с внешней модуляцией оптического излучения и сверхнизким фазовым шумом, которые активно задействуются для самых современных систем радиолокации, радиоэлектронной борьбы и радиосвязи. Вторым результатом – физико-математическая модель оптоэлектронного генератора, моделирующая его выходные характеристики во временной и частотной областях при имитировании внешних динамических и параметрических воздействий. Наряду с уникальной технологией максимально плотной намотки оптических волокон большой длины модель позволила разработать

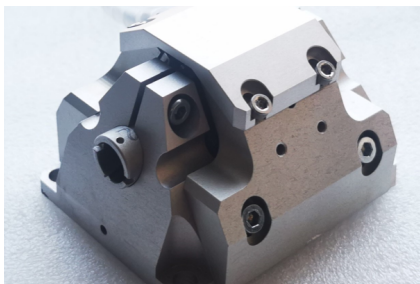
ряд опытных образцов оптоэлектронных генераторов СВЧ на линиях задержки с оптическим усилением, генерирующих опорные сигналы в X- и K-диапазонах для систем радиолокации со сверхнизким фазовым шумом на уровне 140 дБн/Гц, что соответствует улучшению параметров генераторов по сравнению с существующими электронными аналогами на 2 порядка. Все представленные инновации активно применяются как в организациях Государственного военно-промышленного комитета Республики Беларусь, так и в Российской Федерации. В планах – развитие фундаментальных основ и создание радиофотонных устройств обработки сверхширокополосных СВЧ-сигналов для перспективных систем радиолокации, в том числе визуализирующих радаров.

Второе направление связано с лазерными источниками излучения новых типов. Можно отметить твердотельные лазеры с диодной накачкой, излучающие в условно безопасном для глаз спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм. Один из наиболее ярких примеров – подробная физико-математическая модель эрбиевых лазеров, описывающая их работу в различных условиях эксплуатации с высокой достоверностью. Благодаря ей представлен модельный ряд уникальных, не имеющих аналогов в мире по совокупности технических характеристик твердотельных лазеров на эрбиевом стекле, функционирующих без систем принудительного охлаждения в диапазоне температур от -40 до +60 °С, налажено их мелкосерийное производство. Такие приборы пользуются постоянным спросом и поставляются на ряд предприятий Союз-

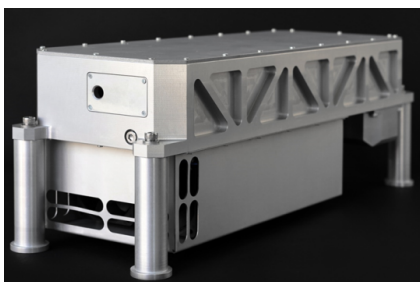
ного государства. Среди лазерных источников, генерирующих в спектральной области около 1 мкм, следует отметить уникальную технологию создания модулей круговой накачки активного элемента. Она позволила получить ряд «сухих» квантронов для производства отечественных полностью твердотельных лазеров, генерирующих импульсы наносекундной длительности с энергиями от 20 до 250 мДж. Также в рамках этого направления совместно с Министерством промышленности стартовал проект по лазерным источникам ультрафиолетового излучения.

Третье развиваемое в ГНПО направление – гиперспектральные технологии для дистанционного экспресс-анализа состояния и качества природных, сельскохозяйственных и промышленных объектов (в том числе промежуточной и готовой продукции). О каждой наблюдаемой их точке можно получить расширенную спектральную информацию, что дает дополнительные сведения о химических и физических свойствах.

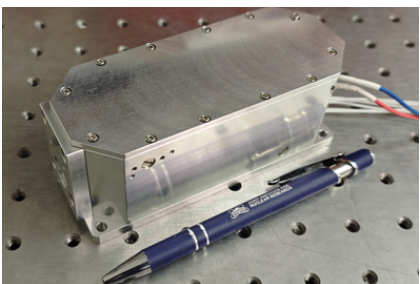
Нами представлен уникальный метод точной дистанционной оптической экспресс-диагностики на расстояниях от нескольких до сотен метров при естественном и искусственном освещении, в том числе геометрически сложных объектов в закрытых помещениях – на хранилищах, складах и в цехах. Он основан на совместном использовании как гиперспектральных данных в отраженном свете, так и синхронно поступающих сведений дистанционного зондирования с получением трехмерного рельефа исследуемых элементов. В зависимости от их формы, геометрии падения



Модуль круговой накачки активного элемента (АЭ)



Многомодовый Nd:YAG лазер с диодной накачкой и энергией в импульсе свыше 200 мДж



Компактный Nd:YAG лазер с диодной накачкой и энергией в импульсе 100 мДж, рабочий диапазон температур от +65 °С до -50 °С, частота следования импульсов до 25 Гц



Двухимпульсный Nd:YAG лазер для LIBS спектроскопии

света учитываются поправки в гиперспектральные данные, связанные с перекрытием объектов в поле зрения, затенением различных их областей, возможностью облучения не только внешним освещением, но и светом, отраженным от соседних предметов, с изменением своего спектрального состава. Также при анализе учитывается специфика освещения искусственными источниками в производственных помещениях с их спектральными и пространственными особенностями. Извлеченная из трехмерных моделей и гиперспектрального изображения информация обрабатывается для коррекции первичных гиперспектральных данных по спектральной и интенсивностной составляющей, что значительно улучшает процессы сегментации и идентификации исследуемых объектов по их свойствам.

Данный метод широко используется в создаваемой нами инновационной технике. В частности, в конфокальном микроскопе для экспресс-анализа параметров изделий микро- и оптоэлектроники, обеспечивающем получение трехмерных гиперспектральных изображений в отраженном свете и свете флуоресценции с поперечным разрешением не менее 0,5 мкм, сочетающих гиперспектральные показатели с данными по трехмерному рельефу поверхности исследуемых образцов. Микроскоп эффективен для контроля технологических параметров изготовления люминофорных композиций из квантовых точек для новейших изделий светодиодной техники.

Разрабатывается гиперспектральный комплекс для автоматической сортировки отходов пластиков. Распознавание их типов происходит непосредственно на

конвейере с помощью спектральных данных в отраженном свете в диапазоне 1000–1700 нм с дальнейшей обработкой данных нейросетями. Каждый пластиковый фрагмент идентифицируется, вредные фтор- и хлорсодержащие отсеиваются в отдельный контейнер эффективным пневматическим сепаратором с компьютерным управлением.

Для анализа качества сыродельной продукции в сырохранилище филиала ОАО «Савушкин продукт» (г. Береза) запущен гиперспектральный комплекс по распознаванию дефектов сыров, направляемых на созревание, а также для контроля готовой продукции. На конвейерной линии происходит экспресс-анализ на основе их спектральных данных в отраженном свете с обработкой нейросетью. Данный метод оптимален, поскольку является бесконтактным, безвредным для продуктов и персонала и не требует присутствия оператора. Комплекс интегрирован в информационную систему производства и фиксирует дефекты сыров с привязкой к конкретным контейнерам, что облегчает последующую отбраковку и в конечном счете способствует повышению качества изделий.

Разработки объединения вызывают интерес и пользуются большим спросом, что содействует укреплению научной школы и конкурентоспособности экономики. ■