

тивление  $R_T \approx 5 \cdot 10^6 - 10^7$  Ом; постоянная времени  $\tau = 10^{-5}$  с; рабочее напряжение  $U_a = 5 - 20$  В.

Разработанный преобразователь ИК-излучений по сравнению с аналогами имеет более высокие  $S_I$ ,  $\Delta\lambda$ , защищен патентом [3] и используется как важнейший функциональный узел в устройстве контроля тепловых излучений.

**Заключение.** Разработанный на основе многослойной структуры преобразователь ИК-излучений обладает высокими электрофизическими свойствами, в частности токовая чувствительность  $S_I \approx 1,5 - 5,0$  А/Вт, диапазон спектральной чувствительности  $\Delta\lambda = 0,5 - 13$  мкм, темновое сопротивление  $R_T \approx 5 \cdot 10^6 - 10^7$  Ом.

УДК 681.785.554

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ АТОМНО-ЭМИССИОННЫЙ МНОГОКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР

Воропай Е.С.<sup>1</sup>, Тарасов Д.С.<sup>1,2</sup>, Гулис И.М.<sup>1</sup>, Самцов М.П.<sup>2</sup>, Радько А.Е.<sup>2</sup>, Ермалицкая К.Ф.<sup>1</sup>,  
Зажогин А.П.<sup>1</sup>, Шевченко К.А.<sup>2</sup>, Кирсанов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ  
Минск, Республика Беларусь

Задачи проведения элементного анализа состава вещества возникают в большом количестве областей человеческой деятельности. С 1970-ых годов начались разработки лазерных методов исследования состава вещества. С этого времени активное развитие получил метод лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии. Он обеспечивает высокую чувствительность, оперативность и возможность проведения исследования образцов с пространственным разрешением, лимитируемым размером сфокусированного лазерного пучка на образце [1].

Силами кафедры лазерной физики и лаборатории спектроскопии НИИ Прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ разработан и изготовлен лазерный атомно-эмиссионный спектрометр (ЛАЭМС), в котором использованы принципиальные и схемные решения, призванные приблизить его к современным потребностям в такой аппаратуре в повседневной практике. Основные конструктивные особенности оптической системы спектрометра представлены в работе [2].

Система возбуждения построена на основе двух лазеров на основе Nd:YAG лазеров с ЭО модуляцией добротности и оптической накачкой излучением полупроводниковых матриц лазерных диодов, объединенных с системой сведения лазерных пучков и системой охлаждения в едином корпусе, работающий в частотном режиме (разработка Института физики НАН Беларуси). Лазеры с полупроводниковой накачкой по сравнению с ламповой отличаются более высоким ресурсом и стабильностью выходных парамет-

Преобразователь ИК-излучений используется как важнейший функциональный узел в устройствах контроля тепловых излучений.

#### Литература

1. Гурта Ф., Микула Д. Инфракрасные датчики температуры / Каучук и резина, 2005. – № 4. – С. 29–33.
2. Васильев В.В., Овсянко В.Н., Шашкин В.В. Инфракрасные фотоприемные модули на варизонных слоях КРТ и на структурах с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs/ Оптический журнал, 2005, 72. – № 6. – С. 63–69.
3. Патент RU 2080690, МКИ<sup>6</sup>, H01 L 31/048. Фотovoltaический преобразователь / Сычик В.А.

ров. Лазер обеспечивает генерацию сдвоенных импульсов длительностью не более 15 нс с длиной волны 1064 нм.

Другим принципиальным схемным решением ЛАЭМС стало использование вместо рефрактивных объективов зеркальных (внеосевые параболюиды). Это обеспечило ахроматичность всей системы фокусировки лазерного излучения на объекте и системы светосбора и ввода в оптоволочный вход полихроматоров излучения плазмы. Важность устранения хроматической аберрации вызвана необходимостью соответствия относительных интенсивностей различных спектральных линий в излучении плазмы.

Для размещения исследуемого объекта разработан предметный столик, который обеспечивает перемещение образца в трех взаимноперпендикулярных направлениях. Перемещение вдоль луча осуществляется с использованием линейной низкопрофильной позиционируемой площадки (ручное перемещение), а в двух других направлениях – с помощью программноуправляемых шаговых двигателей.

Для регистрации спектров плазмы используются спектрометры с регистрацией на ПЗС-линейке на основе полихроматора SDH-1 (ЗАО «СОЛАР Лазерные Системы»): спектральный диапазон 190–800 нм, разрешение 0,1 нм при ширине одновременно регистрируемого спектрального интервала от 130 нм).

Выполнена разработка программного обеспечения (ПО), которое обеспечивает одновременное управление всеми узлами ЛАЭМС и основные

функции предварительной обработки, анализа и отображения спектральных данных. Разработка ПО выполнена средствами языка C++ в среде Microsoft Visual Studio 2005. При разработке использовалось SDK контроллера систем регистрации фирмы ORMINS на основе CCD датчиков. Управление дифракционной решеткой полихроматора выполняется вручную, показания микроиндикатора используются в программном обеспечении ЛАЭМС для калибровки спектрального диапазона полихроматора с системой регистрации.

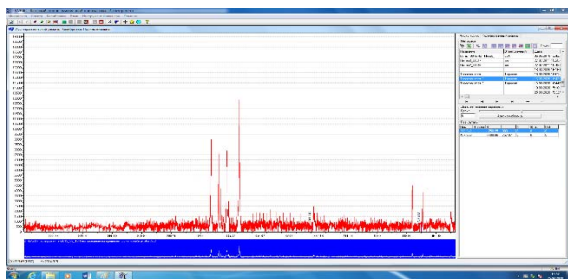


Рисунок 1 – Общий вид главного окна ПО ЛАЭМС

При помощи ПО ЛАЭМС производится:

- инициализация контроллеров шаговых двигателей (приводы перемещения предметного столика), источников света (двухимпульсный лазерный источник с полупроводниковой накачкой, п/п лазер, светодиод), полихроматора с системой регистрации на основе SDH-I;
- управление полихроматором с системой регистрации;
- управление видеокамерой микроскопа для получения и анализа изображений объекта и/или его участков, управление шаговыми двигателями для выбора области регистрации;
- управление лазером прицеливания для точного позиционирования места воздействия лазерных импульсов;

- управление светодиодом подсветки для улучшения идентификации объектов на изображении с видеокамеры микроскопа;
- управление прыгающим зеркалом для направления светового потока в систему регистрации;
- управление двухимпульсным лазерным источником с полупроводниковой накачкой для испарения пробы в выбранных участках объекта, регистрация спектра свечения плазмы;
- исследование полученного спектра, проведение качественного и количественного анализа состава материала;
- сохранение полученных данных на накопитель ЭВМ;
- загрузка сохраненных данных с накопителя ЭВМ и их анализ средствами ПО ЛАЭМС.

Среди основных достоинств ПО ЛАЭМС следует отметить, встроенную базу данных спектральных линий, на основании которой могут быть созданы методики качественного и количественного элементного анализа образцов с количеством определяемых химических элементов до 50. А также возможность независимой программной установки энергии импульсов двухимпульсного лазера (от 0 до 100 мДж).

#### Литература

1. Laser-induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Fundamentals and Applications / Eds. A.W. Miziolek, V. Palleschi, I. Schechter. – Cambridge University Press, 2006. – 620 p.
2. Воропай Е.С., Гулис И.М., Зажогин А.П., Шевченко К.А., Радько А.Е., Кирсанов А.А., Купре-ев А.Г., Самцов М.П., Тарасов Д.С. Лазерный атомно-эмиссионный спектрометр с ахроматической оптической системой Приборостроение–2019 // Материалы 12-й Международной научно-технической конференции. 13–15 ноября 2019. – Минск. Изд.: БНТУ. – С. 390–392.

УДК 681.944

## ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Алексеев В.А., Усольцева А.В., Усольцев В.П.

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашиникова  
Ижевск, Российская Федерация*

В настоящее время номенклатура материалов, применяемых в приборостроении, чрезвычайно велика и составляет несколько тысяч марок. В процессе конструирования приходится решать очень сложные задачи выбора материалов, наиболее полно отвечающих часто противоречивым требованиям [1].

Широкое распространение в приборостроении получило стекло, употребление стекла обусловлено неповторимым и своеобразным сочетанием физических и химических свойств. В приборостроении стекло применяется в пере-

менных и постоянных конденсаторах, в катушках самоиндукции, в вакуумных приборах, используют для производства подложек микромодулей печатных схем, малогабаритных конденсаторов, высоковольтных и высокочастотных изоляторов, приборов с ультрафиолетовым излучением, световых ячеек, световодов вычислительных машин, для волокон и стеклотканей, светофильтров, в том числе с переменным пропусканием. Из стекла изготавливаются защитные стекла для приборов, применяемые для предохранения механизма приборов от загряз-