

**ЛАЗЕРНЫЙ АТОМНО-ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР С АХРОМАТИЧЕСКОЙ  
ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ ВНЕОСЕВЫХ ПАРАБОЛОИДОВ**<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь<sup>2</sup>НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ,  
Минск, Беларусь

Разработан и изготовлен лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр с ахроматической оптической схемой на основе внеосевых параболоидов. Новый спектрометр отвечает всем требованиям, предъявляемым к аппаратуре для лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии, а также обладает рядом преимуществ, обусловленных особенностями конструкции и технических характеристик компонентов ЛАЭМС. Спектрометр ЛАЭМС позволяет проводить исследования как с использованием одноимпульсного, так и двухимпульсного режима лазерной абляции и возбуждения эмиссионных спектров.

Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия — один из наиболее быстро развивающихся и широко используемых методов элементного качественного и количественного анализа объектов в последние два десятилетия. Несмотря на большое количество научных работ по лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии, значительная доля исследований проводится не с применением готовых спектрометров, а на основе собранных из отдельных узлов установок на базе научно-исследовательских лабораторий и научно-практических центров. Данные установки отвечают требованиям, которые предъявляются к спектрометрам, однако существенно ограничены для использования в учебных целях и для проведения большого объема измерительных работ разной направленности. На кафедре лазерной физики и спектроскопии физического факультета БГУ и в лаборатории спектроскопии НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ разработан и изготовлен лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр (ЛАЭМС) для научно-учебных целей [1]. При разработке ЛАЭМС использованы принципиальные и схемные решения, призванные приблизить его к современным потребностям в такой аппаратуре в повседневной практике.

Оптическая схема спектрометра представлена на рисунке 1. Ее разработка осуществлялась с учетом требований абберрационно-оптического и технико-технологического характера. В качестве источника возбуждения спектрометр оснащен двумя неодимовыми лазерами с накачкой полупроводниковыми матрицами лазерных диодов (разработка Института физики НАН Беларуси). Использование накачки полупроводниковыми матрицами лазерных диодов вместо накачки импульсными лампами позволяет существенно увеличить ресурс системы и стабильность выходных характеристик. Двухимпульсный лазер обеспечивает генерацию сдвоенных лазерных импульсов длительностью  $\leq 15$  нс с  $\lambda = 1064$  нм с варьируемым в пределах 1—100 мкс интервалом с энергиями до 100 мДж при частотах следования пар импульсов  $< 10$  Гц. Для регистрации спектров плазмы используются спектрометры с регистрацией на ПЗС-линейке: 18 — на основе полихроматора SDH-1 (ЗАО «СОЛАР Лазерные системы», диапазон 190—800 нм, разрешение 0.1 нм при ширине одновременно регистрируемого спектрального интервала 150 нм), 19 — спектрометр оригинальной конструкции.

Управление режимами работы лазерных источников, системами сканирования образца и системами регистрации спектров осуществляется с использованием оригинального 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 микровинта используются в программном обеспечении ЛАЭМС для калибровки спектрального диапазона полихроматора с системой регистрации.

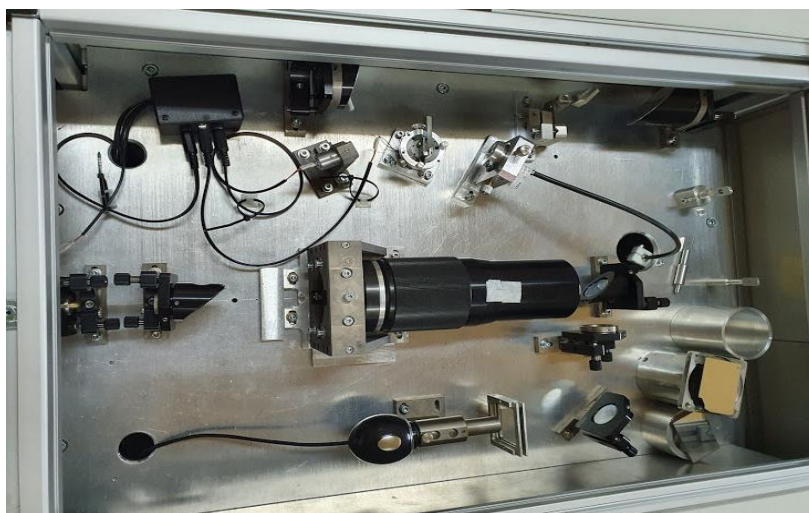


Рисунок 1 – Оптическая схема ЛАЭМС

ПО ЛАЭМС предоставляет возможность регистрации спектров в четырех режимах: одиночный цикл регистрации спектра фоновый сигнал, одиночный цикл регистрации спектра из одной точки, одиночный цикл регистрации спектров из распределенных по заданной площади точек и непрерывный цикл регистрации спектров из одной точки без сохранения данных. Оператор ПО ЛАЭМС имеет возможность задавать энергию импульсов и время задержки между СЛИ, просматривать и выполнять предварительную обработку полученных данных. Несомненным достоинством ПО ЛАЭМС является встроенная база данных спектральных линий, на основании которой могут быть созданы методики качественного и количественного элементного анализа образцов (количество определяемых химических элементов до 50).

На базе ЛАЭМС разработаны методики качественного и количественного микроанализа артефактов и старинных монет, зарегистрированы эмиссионные спектры подлинных и фальшивых старинных монет, варварских имитаций римских имперских денариев, найденных на территории Беларуси и хранящихся в собрании нумизматического кабинета БГУ, в частных коллекциях; плакированных золотом римских монет, а также фрагментов ювелирных украшений, относящихся к I тыс. до н.э., найденных на территории современной Беларуси [2].

Предложен метод оценки толщины молекулярных соединений на поверхности металлических изделий для последующего исключения соответствующих спектральных данных из результатов анализа. Установлено, что при лазерной абляции образцов чистого металла при фиксированных параметрах излучения относительная интенсивность спектральных линий при абляции современного образца может значительно (до 30 %) превышать интенсивность старого образца, который некоторое время находился под землей. длительное время. Таким образом, количественный анализ с использованием градуировочных кривых, построенных на основе современных стандартных образцов, приведет к неверным результатам. При этом переход от одноимпульсной к двухимпульсной лазерной абляции, приводящий к многократному увеличению относительной интенсивности спектральных линий, очень важен, так как позволяет значительно повысить чувствительность анализа и снизить ошибки.

#### Список литературы

1. Воропай Е. С. Лазерный атомно-эмиссионный спектрометр с ахроматической оптической системой / Е. С. Воропай [и др.] // ЖПС. – 2021. – Т. 88, № 3. – С. 485-492.
2. Ermalitskaia K. F. Elemental analysis of obsolete brittle metal samples using a two-pulse laser spectrometer / K. F. Ermalitskaia, P. A. Ivanova, Y. I. Matyush // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2023. – № 1. – С. 78–84.