

АНАЛИЗ ЧИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЛАЗЕРНОМ АНАЛИЗАТОРЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА LEA-S500

В.Копачевский, М.Кривошеева, Л.Боброва, Д.Клемято, В.Бойков, К.Ф.-М.Н.

ООО "СОЛ инструментс"

sales@solartii.com

Производство чистых материалов требует использования современных методов контроля их состава, причем в условиях высокой конкуренции они должны отвечать всем запросам потребителей. Это высокая точность и скорость, удобство эксплуатации и экономичность. По мнению авторов статьи этим и многим другим требованиям удовлетворяет лазерный анализатор элементного состава LEA-S500.

Чистыми материалами будем называть материалы с низким содержанием примесей и содержанием основного компонента 99,5% и более. Контроль химического состава таких материалов – довольно сложная аналитическая задача. Сложность связана с непредсказуемостью номенклатуры дополнительных элементов (примесей) и возможной вариацией концентрации в несколько порядков. Нужно отметить, что, несмотря на высокую актуальность проблемы, не существует распространенных методов контроля, обеспечивающих точное, быстрое и одновременное определение всех возможных примесей и их концентраций. Используемые методы анализа – химические, спектральные, химико-спектральные, электрохимические, спектрофотометрические, рентгеноспектральные и другие – позволяют контролировать лишь ограниченную номенклатуру заранее известных элементов. Требуются сложные процедуры пробоподготовки: сплавление, предварительное концентрирование, отделение мешающих компонентов и т.д. Точность таких методов невысока, измерения трудоемки, дорогостоящи и длительны по времени. Предъявляются высокие требования к квалификации персонала, выполняющего анализ.

Помимо непосредственного определения химического состава очень важна задача опреде-

ления равномерности распределения примесей (гомогенность) в структуре чистых материалов. В современных технологиях востребованы материалы, однородность которых должна обеспечиваться для представительной массы пробы в несколько микрограмм.

Проанализировав сложившуюся ситуацию, мы подошли к пониманию, что идеальный метод для контроля чистых материалов должен отвечать следующим требованиям:

- минимальная или простая механическая подготовка пробы;
- многоэлементность (одновременный полный элементный анализ пробы);
- экспрессность (время получения результата анализа 3-5 мин с учетом пробоподготовки);
- широкий диапазон измерения концентраций;
- низкие пределы обнаружения элементов;
- простота анализа (нажал на клавишу – получил результат);
- возможность анализа малых объемов материала и возможность выполнения большого количества таких анализов за короткое время;
- безопасность для персонала;
- отсутствие дорогостоящих расходных материалов.

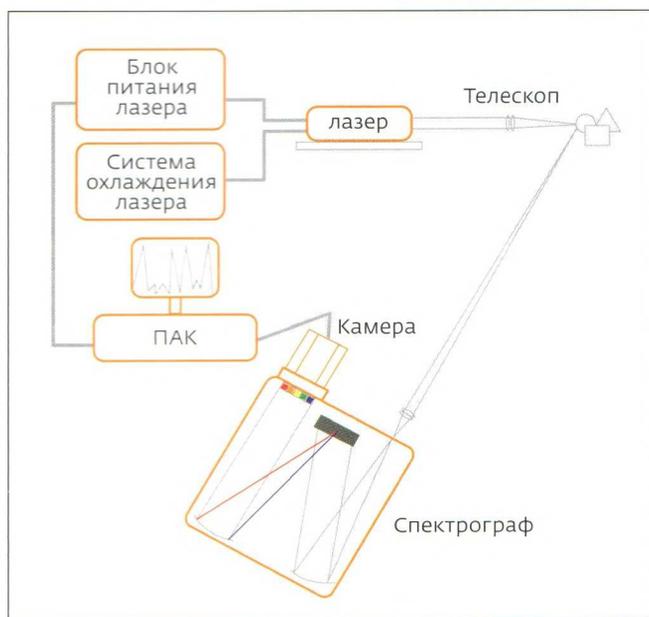


Рис.1. Блок-схема прибора для проведения анализа методом LIBS

МЕТОД LIBS И ПРИНЦИП РАБОТЫ LEA-S500

Более 15 лет ООО "СОЛ инструментс" работает над созданием аналитического оборудования, отвечающего самым смелым пожеланиям специалистов. В данном случае мы готовы предложить уни-

Наши технические решения гарантируют

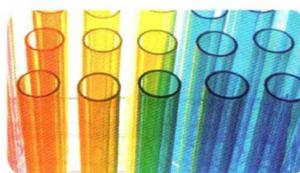
- Правильность и высокую прецизионность измерений.
- Низкий предел обнаружения элементов.
- Анализ различных элементов в любых твердых пробах.
- Использование аналитических линий с наилучшей концентрационной чувствительностью, свободных от взаимных наложений.
- Максимальную эффективность использования аналитического светового сигнала.
- Удобство в работе и обслуживании.
- Безопасную работу и защиту персонала от воздействия вредных факторов.

кальное решение, в основе которого лежит метод LIBS. LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) – современный аналитический метод элементного анализа, обеспечивающий высокоточный много-элементный анализ химического состава пробы в режиме реального времени. До сих пор не существует общепринятого перевода названия метода на русский язык. В источниках информации можно встретить несколько вариантов названия: ЛАЭС – лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия, ЛИЭС – лазерно-искровая эмиссионная спек-

- Определение полного химического состава стекла, металлов, огнеупоров, керамики, шлаков и сырьевых материалов за несколько минут
- Минимальная пробоподготовка
- Высокая чувствительность и прецизионность измерений в широком диапазоне концентраций
- Анализ включений, пороков, дефектов
- Построение карт распределения элементов по поверхности и глубине
- Бескомпромиссная безопасность работы, полная защита персонала от воздействия вредных факторов

SiO₂
Al₂O₃
Fe₂O₃
CaO
MgO
Na₂O
K₂O
SO₃
B₂O₃
BaO
SrO
ZrO₂
PbO
Cr₂O₃
CeO₂
TiO₂
P₂O₅
ZnO
MnO₂
Sb₂O₃

Диапазон измерения от 0.01 ppm до 100 %



Si
Al
Fe
Ca
Mg
Na
K
B
Ba
Be
Sr
Zr
Pb
Cr
Ce
Ti
P
Zn
Mn
Sb

SOL
instruments

LEA - S500
Лазерный анализатор элементного состава



ООО "СОЛ инструментс"
тел.: +375 17 290-07-17
факс: +375 17 290-07-16

РБ Минск 220005 пр. Независимости, 58
почтовый адрес: Минск 220005 РБ, а/я 235

sales@solartii.com
www.solartii.com

Таблица 1. Анализ чистой меди ГОСТ 859-2001

Определяемый элемент		Диапазон массовых долей, % (ГОСТ 31382-2009)	Предел обнаружения, % (LEA-S500)	Измеренная массовая доля, % (LEA-S500)	Погрешность результатов измерения, отн. %	
					ГОСТ 31382-2009	LEA-S500
Висмут	Bi	0,0005–0,0015	0,0005	0,00068	0,0004	0,00025
Никель	Ni	0,0010–0,0030	0,00008	0,0017	0,0006	0,00004
Цинк	Zn	0,0020–0,0060	0,00005	0,003	0,0005	0,0003
Олово	Sn	0,0003–0,0010	0,00005	0,0006	0,00014	0,00006
Сурьма	Sb	0,0020–0,0100	0,001	0,0035	0,0015	0,001
Железо	Fe	0,0020–0,0060	0,00005	0,002	0,0009	0,0003
Свинец	Pb	0,0020–0,0060	0,0003	0,0025	0,0013	0,0002
Серебро	Ag	0,0020–0,0060	0,0001	0,002	0,0003	0,0001

троскопия [1], АЭС-ПИЛ – атомно-эмиссионная спектроскопия плазмы, индуцированной лазером.

Метод основан на возбуждении атомов элементов материала пробы импульсом лазерного излучения, сфокусированным на поверхность пробы, разложении излучения атомов элементов в спектр, измерении аналитических сигналов, пропорциональных интенсивности спектральных линий, и последующем определении массовых долей элементов с помощью градуировочных графиков. Спектральный состав излучения лазерной плазмы любого химического элемента неповторим и уникален, что позволяет безошибочно идентифицировать по спектру присутствие элемента в пробе, а по интенсивности спектральной линии определить его концентрацию. Спектр многокомпонентного вещества состоит из спектральных линий химических элементов, входящих в его состав.

Основные узлы прибора для проведения анализа методом LIBS схематически приведены на блок-схеме (рис.1). Анализатор состоит из следующих основных частей: импульсного лазера; системы сбора, передачи и пространственного разложения на монохроматические составляющие оптического излучения – спектрографа; системы регистрации спектров (детектора) – цифровой камеры; программно-аппаратного комплекса (ПАК) управления системой, отображения, архивирования спектров и результатов анализа. На нашем предприятии налажен серийный выпуск анализаторов элементного состава LEA-S500 (рис.2).

LEA-S500 – современный мощный атомно-эмиссионный спектральный прибор с фотоэлектрической регистрацией спектра, объединяющий инновационные технологии в области лазерной, спектральной, измерительной, цифровой техники и программного обеспечения, позволяющий определить элементный (химический) состав пробы за считанные минуты. Определяемые элементы – от H до U, диапазон измерения – от долей ppm до 100%. Масса вещества необходимого для анализа – от

Таблица 2. Пределы обнаружения дополнительных элементов при анализе чистой меди

Элементы	Пределы обнаружения, менее, ppm
Марганец	0,1
Алюминий	1
Кремний	2
Титан	0,3
Цирконий	1
Молибден	1
Литий	0,02
Натрий	0,05
Калий	0,06
Кобальт	0,5
Кадмий	0,4
Хром	0,4

Таблица 3. Анализ первичного (чистого) алюминия ГОСТ 11069-2001

Определяемый элемент		Диапазон массовых долей, % (ГОСТ 3221-85)	Предел обнаружения, % (LEA-S500)	Измеренная массовая доля, % (LEA-S500)	Погрешность результатов измерения, отн. %	
					ГОСТ 3221-85	LEA-S500
Кремний	Si	0,003–0,03	0,0003	0,024		4
Магний	Mg	0,005–0,02	0,00001	0,015	5	5
Никель	Ni		0,00008	0,0065	Не норм.	3,7
Цинк	Zn	0,0007–0,007	0,00005	0,0045	9	9
Железо	Fe	0,03–0,1	0,00005	0,0516	4	4
Свинец	Pb	0,01–0,05	0,0003	0,0047	30	20
Титан	Ti	0,001–0,005	0,00003	0,0047	9	5
Марганец	Mn	0,001–0,005	0,00003	0,0039	9	4,8
Хром	Cr	0,002–0,01	0,0001	0,0036	7	7,7
Медь	Cu	0,001–0,005	0,00005	0,0025	9	8,3

50 нг. Время выполнения многоэлементного анализа с учетом времени пробоподготовки – 1-15 мин. Время выполнения 400 анализов по определению однородности материала – 5-7 мин.

О применении прибора для анализа химического состава различных материалов – металлов, сплавов, стекла, шихтовых материалов, калийных солей, керамики, огнеупоров, примесей и микропримесей – рассказывается в ряде публикаций [2-12].

ЧИСТЫЕ МЕТАЛЛЫ. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Существует несколько важных этапов количественного определения состава пробы: пробоподготовка, подбор режимов возбуждения и регистрации спектров, калибровка (градуировка) прибора по образцам известного состава (стандартным образцам), измерение.

Пробоподготовка для твердых материалов заключается в получении плоского участка поверхности пробы. Поверхностные слои материала удаляются предварительными лазерными импульсами на глубину 1-2 мкм для исключения влияния на результат анализа возможного загрязнения поверхности и окисленного материала. Возможен анализ проволоки, шариков, цилиндрических, выпуклых и вогнутых деталей с помощью адаптеров (включены в

Таблица 4. Пределы обнаружения дополнительных элементов при анализе чистого алюминия

Элементы	Пределы обнаружения, менее, ppm
Индий	5
Галлий	20
Сурьма	10
Серебро	0,1
Олово	10
Висмут	5
Ниобий	5
Ванадий	1
Молибден	1
Кальций	0,1
Натрий	0,05
Калий	0,05
Литий	0,02
Стронций	0,1
Барий	0,1
Бор	5

Таблица 5. Анализ цинка ГОСТ 3640-94

Определяемый элемент		Диапазон массовых долей, % (ГОСТ 17261-77)	Предел обнаружения, % (LEA-S500)	Измеренная массовая доля, % (LEA-S500)	Погрешность результатов измерения, отн. %	
					ГОСТ 17261-77	LEA-S500
Кадмий	Cd	0,004–0,008	0,0001	0,007	0,0012	0,0004
Свинец	Pb	0,008–0,01	0,0003	0,0086	0,001	0,0006
Медь	Cu	0,001–0,002	0,00005	0,0018	0,0003	0,0003
Железо	Fe	0,01–0,02	0,00005	0,014	0,003	0,0015
Олово	Sn	0,001–0,002	0,001	0,0019	0,0003	0,0003

комплект поставки) без дополнительной механической обработки.

Подбор режимов возбуждения и регистрации спектров и калибровка (градуировка) прибора по образцам известного состава (стандартным образцам) осуществляется изготовителем прибора на пуско-наладочных работах и повторя-

Таблица 6. Пределы обнаружения дополнительных элементов при анализе цинка

Элементы	Пределы обнаружения, менее, ppm
Алюминий	1
Марганец	0,2
Стронций	0,1
Барий	0,1
Фосфор	20
Висмут	0,1
Ниобий	5
Ванадий	1
Молибден	1
Кальций	0,1
Натрий	0,05
Калий	0,05
Литий	0,02
Кремний	3
Никель	2
Хром	1
Титан	0,5

ется оператором при изменении условий эксплуатации или периодически для контроля точности измерений.

Для выполнения измерения оператору необходимо установить пробу в камеру образцов, выбрать зону анализа с помощью системы видеонаблюдения и позиционирования и нажатием одной клавиши получить протокол анализа на мониторе или в печатном виде.



Рис.2. Анализатор элементного состава LEA-S500 (ООО "СОЛ инструментс", Республика Беларусь)

Таблица 7. Анализ магния Гост 804-93

Определяемый элемент		Диапазон массовых долей, % (ГОСТ 851.10-93)	Предел обнаружения, % (LEA-S500)	Измеренная массовая доля, % (LEA-S500)	Погрешность результатов измерения, отн. %	
					ГОСТ 851.10-93	LEA-S500
Кремний	Si	0,003–0,05	0,0003	0,017	0,006	0,003
Алюминий	Al	0,004–0,05	0,0001	0,007	0,002	0,001
Никель	Ni	0,0005–0,002	0,00008	0,0006	0,0004	0,00014
Железо	Fe	0,002–0,05	0,00005	0,015	0,006	0,003
Медь	Cu	0,0005–0,02	0,00005	0,002	0,0006	0,0003

Полный химический анализ пробы за одно измерение обеспечивается одновременной регистрацией аналитических линий как определяемых элементов, так и дополнительно присутствующих в анализируемом образце.

Анализ чистой меди ГОСТ 859-2001

Анализ чистой меди на анализаторе элементного состава LEA-S500 осуществляется в соответствии с пунктом 17 ГОСТ 31382-2009. В качестве исследуемого образца использовалась пластина меди М0к (М0б) ГОСТ 859-2001. Калибровка анализатора осуществлялась по комплекту ГСО М32, ГСО 3200–3205 (ЗАО "Мценскпрокат"). Время анализа не превышает 10 мин. Результаты анализа приведены в табл.1.

Дополнительно, кроме примесей регламентированных ГОСТ, без увеличения времени анализа, возможно определение иных элементов. Пределы обнаружения некоторых дополнительных элементов приведены в табл.2.

Анализ первичного (чистого) алюминия ГОСТ 11069-2001

Анализ первичного алюминия на анализаторе элементного состава LEA-S500 осуществляется в соответствии с ГОСТ 3221-85. В качестве исследуемого образца использовалась пластина технического алюминия А 85 ГОСТ 11069-2001. Калибровка анализатора осуществлялась по комплекту ГСО "Алюминий технический" №№ 484-490-74, ВИЛС. Время анализа не превышает 8 мин. Результаты анализа приведены в табл.3.

Таблица 8. Химический состав СОП кварцевых песков

Обозначение образца	Оксиды, %				
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
RM01	99,74	0,019	0,027	0,092	0,0031
RM02	99,67	0,028	0,028	0,109	0,0038
RM03	99,67	0,022	0,027	0,132	0,003
RM04	99,54	0,034	0,034	0,201	0,0036
RM05	99,29	0,051	0,058	0,283	0,0042
RM06	99,25	0,051	0,069	0,308	0,0042
RM07	99,11	0,072	0,098	0,372	0,0054
RM08	98,97	0,079	0,101	0,422	0,0055
RM09	98,88	0,105	0,169	0,426	0,0074
RM10	98,72	0,115	0,182	0,445	0,0081

Таблица 9. Анализ обогащенных кварцевых песков

Оксид	Диапазон измерений, %		Погрешность результатов измерения, отн. %
	мин. масс. доля	макс. масс. доля	
SiO ₂	99,48	99,78	0,04
Fe ₂ O ₃	0,018	0,036	9
TiO ₂	0,027	0,035	5
Al ₂ O ₃	0,09	0,21	6
ZrO ₂	0,003	0,004	15

Дополнительно анализатор элементного состава LEA-S500 без перенастройки и модернизации обеспечивает возможность контроля исходных материалов для производства алюминия (руд, глиноземов, фтористых солей и др.). Кроме примесей, регламентируемых ГОСТ, параллельно, без увеличения времени анализа, возможно определение других элементов. Пределы обнаружения некоторых элементов приведены в табл.4.

Анализ цинка ГОСТ 3640-94

Анализ первичного цинка на анализаторе элементного состава LEA-S500 осуществляется в соответствии с ГОСТ 17261-77. В качестве исследуемого образца использовалась пластина цинка Ц1 ГОСТ 3640-94. Калибровка анализатора осуществлялась по комплекту ГСО "Гинц-ветмета". Время анализа не превышает 5 мин. Результаты анализа приведены в табл.5.

Кроме примесей, регламентируемых ГОСТ, параллельно, без увеличения времени анализа, воз-

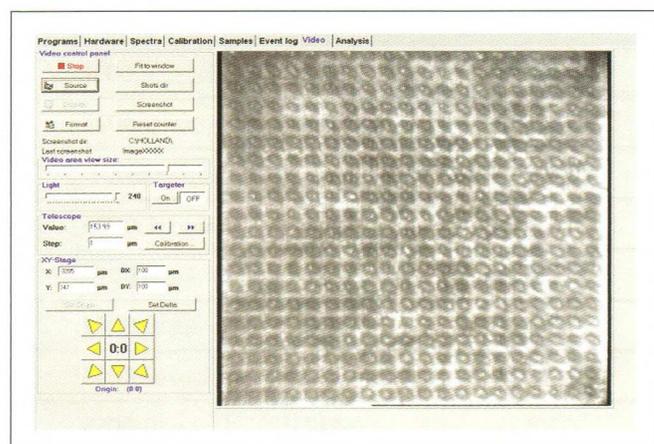


Рис.3. Поверхность материала после анализа, площадь анализа 2×2 мм, 400 точек анализа (фото с монитора)

Таблица 10. Химический состав образцов жильного кварца ГОСТ 22551-77 и оптического кварцевого стекла КУ-1 ГОСТ 15 130-86

Элемент	Жильный кварц (природный), ppm	Оптическое кварцевое стекло КУ-1, ppm
Железо	Fe	99,48
Алюминий	Al	0,018
Кальций	Ca	0,027
Магний	Mg	0,09
Натрий	Na	0,003
Калий	K	0,09
Литий	Li	0,003

можно определение иных элементов. Пределы обнаружения некоторых элементов приведены в табл.6.

Анализ магния ГОСТ 804-93

Анализ первичного магния на анализаторе элементного состава LEA-S500 осуществляется в соответствии с ГОСТ 851.10-93. В качестве исследуемого образца использовалась пластина Mg90 ГОСТ 804-93. Калибровка анализатора осуществлялась по комплекту ГСО №8 ВАМИ и № 11 ВИЛС. Время анализа не превышает 7 мин. Результаты анализа приведены в табл.7.

АНАЛИЗ КВАРЦЕВЫХ ОБОГАЩЕННЫХ ПЕСКОВ

Пробоподготовка сыпучих исходных компонентов проводится прессованием в таблетки с использованием лабораторного пресса. При необходимости (крупные частицы, смешивание веществ) осуществляется предварительное измельчение и гомогенизация сыпучих проб на планетарной мельнице. При больших объемах измерений и необходимости экспресс-анализа для измельчения проб и таблетирования используют полуавтоматы и автоматы.

Время анализа кварцевых песков составляет 4 мин. С учетом пробоподготовки в ручном режиме – от 30 до 40 мин, с использованием для пробоподготовки полуавтоматических мельниц и прессов – 5-8 мин.

Для калибровки прибора использовались стандартные образцы предприятия (СОП) ООО "СОЛ инструментс", химический состав которых приведен в табл.8.

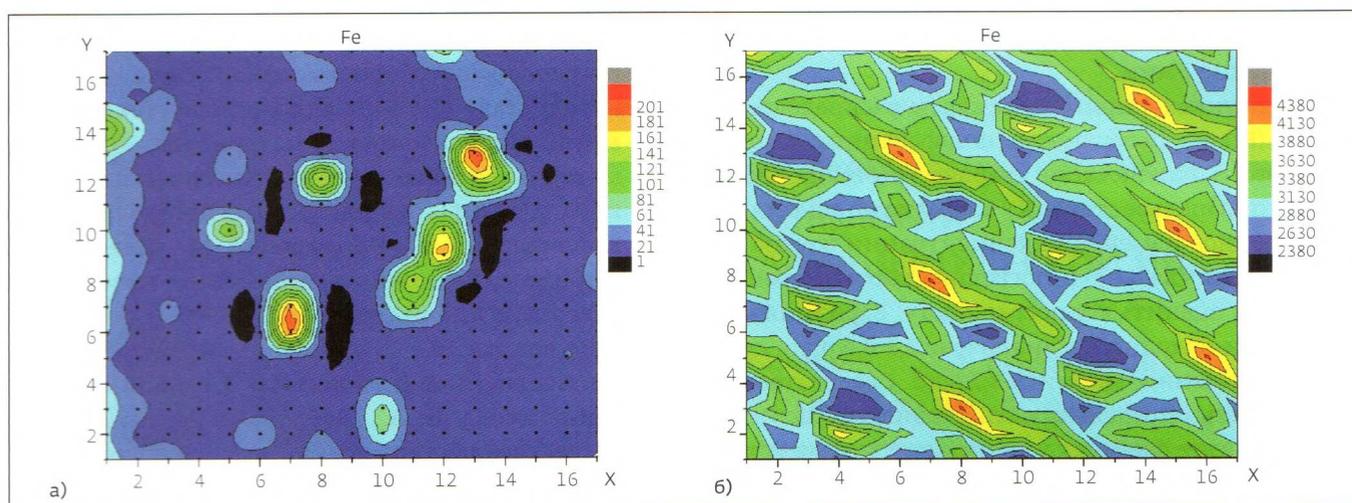


Рис.4. Распределение железа, ppm, на поверхности жильного кварца (а) и оптического кварцевого стекла КУ-1 (б). Площадь анализа 4×4 мм, 289 (17×17) точек анализа

Диапазоны измерения концентраций и погрешности результатов единичных измерений массовых долей оксидов приведены в табл.9.

Кварцевые пески, поверхностный химический состав которых коррелирует с общим усредненным химическим составом, могут быть проанализированы без измельчения и таблетирования. В этом случае песок наносится тонким слоем на клеевую основу армированной клейкой ленты. Продолжительность анализа не превышает 5 мин.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ МАТЕРИАЛА

Контроль распределения элементов по поверхности материалов позволяет получить важные дополнительные сведения о степени чистоты

материалов и характере их загрязнения. Анализатор LEA-S500 обеспечивает высокую точность, скорость и малую стоимость такого анализа. Можно сканировать поверхности с шагом от 100 мкм, при этом для анализа в одной точке поверхности используется от 0,2–2 мкг вещества в зависимости от свойств исследуемого материала (рис.3).

Мы анализировали однородность двух материалов с предварительно аттестованным химическим составом – жильный кварц (природный) ГОСТ 22551-77 и оптическое кварцевое стекло КУ-1 ГОСТ 15 130-86. Химический состав (табл.10) определялся на LEA-S500 с использованием СОП (стандартных образцов предприятия) ООО "СОЛ инструмент". Оптическое кварцевое стекло было принято в качестве эталона равномерного распределения элементов для определения погрешности измерения. Поверхности

RESTEK

Innovative Chromatography Products

ООО «Лаверна-Лаб» – единственный в России официальный дистрибьютер компании **Restek (США)**, одного из ведущих мировых производителей расходных и комплектующих материалов для хроматографии.

В ассортименте компании более 17000 наименований продукции. Возможно изготовление под заказ хроматографических колонок для любых моделей хроматографов. Продукция **Restek** востребована на хроматографических заводах России, в аналитических лабораториях различных отраслей промышленности, в лабораториях экологического контроля, в научно-исследовательских организациях, в медико-фармацевтических лабораториях и центрах.

ООО «Лаверна-Лаб» предлагает бесплатную электронную и почтовую рассылку методических пособий и каталогов продукции компании **Restek**. Литература информативна, толково написана, удобна в использовании в качестве справочников по газовой и жидкостной хроматографии. В каталоги включены таблицы перевода единиц, схемы соединений различных модулей хроматографического оборудования и фильтров газовых линий, технические характеристики и фотографии продукции, а так же таблицы сопоставления каталожных номеров хроматографических продуктов известных мировых производителей, что особенно полезно для сервисных и снабженческих служб.

Для получения рассылки, отправьте запрос на электронный адрес: restekcom@mail.ru. В запросе должны быть указаны:

1. ФИО получателя.
2. Почтовый адрес.
3. Электронный адрес.
4. Название организации.

Подробная информация на нашем сайте: <http://www.laverna-lab.ru>
или по телефонам: (495)666-32-05, (495)482-40-54

 **ЛАВЕРНА-ЛАБ**

образцов перед анализом шлифовались порошком SiC в течение 2 мин.

На рисунках 4 приведены карты распределения железа (Fe) на поверхности шлифованных кварца жильного и оптического кварцевого стекла. Допуская, что кварцевое стекло КУ-1 абсолютно однородно, а измеренное изменение концентрации железа на поверхности связано с погрешностью измерения, мы можем оценить эту погрешность. Вариация концентрации находится в диапазоне 2,3-4,4 ppm, среднее установленное значение 3,2 ppm. Следовательно, погрешность определения однородности распределения железа в образцах чистого кварца может быть оценена в $\pm 1,2$ ppm. Аналогичные карты распределения могут быть построены для любых материалов и элементов. Для анализа в каждой точке используется аналитический сигнал от долей микрограмма вещества, что позволяет проводить уникальные исследования в области материаловедения и сертификации чистых материалов.

ВЫВОДЫ

Использование нового современного анализатора элементного состава LEA-S500 открывает совершенно уникальные возможности в исследовании чистых материалов. Анализатор позволяет быстро и точно контролировать химический состав и распределение примесей. Дополнительное преимущество – одновременный учет содержания элементов (оксидов), присутствующих в малых количествах и обычно остающихся вне сферы лабораторного анализа. Достигается точность анализа, сравнимая с точностью аттестации стандартных образцов.

Сочетание высокой точности, многоэлементности, экспрессности, низкой трудоемкости и невысокой стоимости анализа, получаемой при использовании анализатора LEA-S500, недостижимо ни одним из ныне существующих методов анализа.

В настоящее время в ООО "СОЛ инструментс" ведутся работы по снижению пределов обнаружения химических элементов и разрабатываются методики выполнения измерений для материалов с содержанием основного компонента 99, 99%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремерс Д., Радзиемски Л. Лазерно-искровая эмиссионная спектроскопия. – Техносфера, М.: 2009.
2. Копачевский В. LEA-S500 – универсальная мини – лаборатория контроля качества продукции. – Аналитика, 2012, № 2, с.12-19.
3. Копачевский В.Д., Кривошеева М.А. Практика применения лазерного анализатора элементного состава LEA-S500 для анализа стекла, керамики, шлаков и других материалов. – Сборник материалов 14-го научно-практического семинара "АНАЛИТИКА 2006", Санкт-Петербург, 2006.
4. Копачевский В., Кривошеева М., Клемято Д. Определение химического состава материалов лазерным анализатором LEA-S500. – Фотоника, 2007, №3, с.6-10.
5. Копачевский В.Д., Клемято Д.В., Бойков В.Н., Кривошеева М.А., Боброва Л.А. Анализ химического состава стекла и огнеупоров на лазерном анализаторе LEA-S500. – Сборник материалов 16-го научно-практического семинара "АНАЛИТИКА 2008", Санкт-Петербург, 2008.
6. Копачевский В.Д., Клемято Д.В., Бойков В.Н., Кривошеева М.А., Боброва Л.А. Новые методики анализа материалов на анализаторе LEA-S500. – Новые огнеупоры, 2009, №4, с.136-140.
7. Копачевский В., Клемято Д., Бойков В., Кривошеева М., Боброва Л. Быстрый высокоточный анализ химического состава силикатных стекол и компонентов для их производства на анализаторе элементного состава LEA-S500. – Glass Russia, февраль, 2012.
8. Kapacheuski V., Klemiata D., Baikou U., Krivosheeva M., Bobrova L. Chemical Analysis of Potassium Chloride by Double Pulse Laser Induced Breakdown Spectroscopy using LEA S500 Elemental Analyzer. – 6 th EMSLIBS 11-15 September 2011, Poster – 108, p.194.
9. Pouzar M., Kratochvíl T., Kaski S., Kaiser J., Knotek P., Čapek L., Černohorský T. Effect of particle size distribution in laser-induced breakdown spectroscopy analysis of mesoporous V-SiO₂ catalysts. – Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2011, № 26 (11), p.2281-2288.
10. Pouzar M., Kratochvíl T., Čapek L., Smoláková L., Černohorský T., Krejčová A., Hromádko L. Quantitative LIBS analysis of vanadium in samples of hexagonal mesoporous silica catalysts. – Talanta, 2011, №83 (5), p.1659-1664.
11. Pouzar M., Černohorský T., Průšová M., Prokopčáková P., Krejčová A. LIBS analysis of crop plants. – Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2009, №24 (7), p.953-957.
12. Pouzar M., Průšová M., Prokopčáková P., Černohorský T., Wiener J., Krejčová A. LIBS analysis of chromium in samples of dyed wool fabric. – Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2009, №24, p.685-688.