

# Содержание

<b>Введение</b> .....	8
<b>Предисловие</b> .....	10
<b>Сокращения, константы, символы</b> .....	14
<b>Глава 1</b>	
<b>История</b> .....	18
1.1. Оптическая атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС) .....	18
1.1.1. Классическая АЭС .....	18
1.1.2. Лазерно-индуцированная АЭС .....	19
1.2. Лазерно-искровая эмиссионная спектрометрия (ЛИЭС) .....	20
1.3. История ЛИЭС 1960–1980 гг. ....	25
1.4. История ЛИЭС 1980–1990 гг. ....	28
1.5. История ЛИЭС 1990–2000 гг. ....	31
1.6. Современные достижения в ЛИЭС (2000–2002 гг.) .....	36
<b>Литература</b> .....	38
<b>Глава 2</b>	
<b>Основные процессы в лазерно-индуцированной плазме</b> ...	46
2.1. Свойства лазерно-индуцированной плазмы .....	46
2.1.1. Контуры спектральных линий .....	49
2.1.2. Определение электронной плотности по ширине спектральных линий .....	50
2.1.3. Прозрачность плазмы .....	54
2.1.4. Температура и термодинамическое равновесие .....	55
2.2. Лазерно-индуцированный пробой .....	61
2.2.1. Пробой в газах .....	61
2.2.2. Явления, сопровождающие пробой в газах .....	65
2.2.3. Пробой в твердом теле и на его поверхности, в аэрозолях и жидкостях .....	65
2.2.4. Явления, сопровождающие пробой на поверхности твердого тела .....	68
2.3. Лазерная абляция .....	71
2.4. Двух- или многоимпульсная ЛИЭС .....	75
2.5. Выводы .....	77
<b>Литература</b> .....	78

**Глава 3**

<b>Аппаратура</b> .....	82
3.1. Принципиальная схема приборов ЛИЭС .....	82
3.2. Лазеры .....	84
3.2.1. Принципы работы лазеров .....	84
3.2.2. Типы лазеров.....	85
3.2.3. Свойства лазерного излучения, важные для ЛИЭС .....	89
3.2.4. Генерация гармоник .....	91
3.2.5. Двухимпульсный режим.....	92
3.3. Оптические системы.....	93
3.3.1. Фокусировка и сбор излучения .....	93
3.3.2. Линзы .....	95
3.3.3. Волоконные световоды.....	96
3.4. Методы получения спектров.....	101
3.4.1. Введение.....	101
3.4.2. Спектральные устройства .....	103
3.5. Приемники излучения (детекторы).....	117
3.6. Калибровка систем детектирования.....	124
3.6.1. Калибровка по длинам волн.....	124
3.6.2. Калибровка спектральной чувствительности.....	128
3.7. Временные характеристики сигналов.....	130
3.8. Способы аппаратурной реализации ЛИЭС.....	131
<b>Литература</b> .....	133

**Глава 4**

<b>Метрологические характеристики ЛИЭС</b> .....	136
4.1. Введение .....	136
4.2. Измерение аналитического сигнала .....	136
4.3. Воспроизводимость .....	143
4.4. Градуировка.....	146
4.4.1. Градуировочные графики .....	146
4.4.2. Градуировочные стандартные образцы .....	152
4.5. Пределы обнаружения.....	154
4.6. Правильность .....	155
<b>Литература</b> .....	156

**Глава 5**

<b>ЛИЭС: качественный анализ</b> .....	159
5.1. Введение.....	159

5.2.	Элементный анализ .....	159
5.3.	Идентификация материалов.....	163
5.4.	Контроль технологических процессов .....	166
5.4.1.	Техника эксперимента .....	167
5.4.2.	Результаты .....	169
5.4.3.	Заключение .....	174
5.5.	Классификация и распознавание материалов.....	174
5.5.1.	Состояние поверхности .....	174
5.5.2.	Типы классификации материалов .....	176
5.5.3.	Классификация материалов близкого состава.....	178
5.6.	Проверка загрязненности местности с использованием ЛИЭС.	180
	<b>Литература .....</b>	<b>183</b>

## Глава 6

	<b>ЛИЭС: количественный анализ .....</b>	<b>185</b>
6.1.	Введение.....	185
6.2.	Пространственные характеристики пробоотбора .....	187
6.3.	Прочие характеристики пробоотбора .....	190
6.4.	Размеры частиц и неполное испарение .....	195
6.5.	Использование внутреннего стандарта.....	196
6.6.	Влияние химического состава основы пробы.....	198
6.7.	Применение ЛИЭС: определение примесей в растворах лития.....	200
6.7.1.	Цель.....	201
6.7.2.	Методика анализа .....	201
6.7.3.	Проведение аналитических измерений.....	203
6.7.4.	Результаты .....	204
6.7.5.	Градуировочные графики .....	207
6.7.6.	Воспроизводимость измерений.....	208
6.7.7.	Обсуждение результатов.....	209
6.8.	Метрологические характеристики ЛИЭС .....	209
6.9.	Заключение .....	214
	<b>Литература .....</b>	<b>214</b>

## Глава 7

	<b>ЛИЭС: дистанционный анализ .....</b>	<b>216</b>
7.1.	Введение.....	216
7.2.	Классическая дистанционная ЛИЭС .....	220
7.2.1.	Аппаратура.....	220
7.2.2.	Фокусирование лазерного излучения.....	221
7.2.3.	Сбор излучения плазмы .....	226



7.2.4.	Результаты использования классической ЛИЭС .....	227
7.3.	Дистанционная ЛИЭС с использованием фемтосекундного излучения.....	232
7.3.1.	Классический вариант дистанционной ЛИЭС с использованием фемтосекундного излучения.....	232
7.3.2.	Применение фемтосекундной филаментации в дистанционном анализе.....	234
7.3.3.	Транспортируемая лаборатория «Терамобиль» .....	237
7.3.4.	Применение фемтосекундной ЛИЭС для дистанционного анализа.....	237
7.4.	Оптоволоконный вариант ЛИЭС .....	239
7.4.1.	Сбор излучения с помощью оптоволокну .....	239
7.4.2.	Передача лазерного излучения с помощью оптоволокну ...	241
7.4.3.	Применение оптоволокну.....	244
<b>Литература .....</b>		<b>248</b>

## Глава 8

### Современные фундаментальные исследования, оборудование и новые области применения ЛИЭС.....

8.1.	Введение .....	251
8.2.	Основы .....	251
8.3.	«Безэталонная» ЛИЭС.....	257
8.4.	Достижения в лазерной технике и спектральном приборостроении .....	259
8.5.	Анализ поверхности .....	261
8.6.	Изучение и применение двухимпульсного режима.....	265
8.7.	Анализ сталей.....	268
8.8.	Анализ биологических материалов.....	270
8.9.	Применение в атомной энергетике.....	272
8.10.	Применение ЛИЭС в космических исследованиях .....	274
<b>Литература .....</b>		<b>285</b>

## Глава 9

### Перспективы развития ЛИЭС .....

9.1.	Введение .....	290
9.2.	Расширение понимания основ и возможностей ЛИЭС.....	290
9.3.	Расширение сферы применения ЛИЭС .....	293
9.4.	Факторы, ускоряющие коммерциализацию ЛИЭС.....	295
9.4.1.	Стандартизация и количественный анализ .....	295
9.4.2.	Применение ЛИЭС в промышленности .....	296

9.4.3. Доступность оборудования для ЛИЭС .....	297
9.5. Заключение .....	298
<b>Литература</b> .....	299
<b>Приложения</b> .....	301
А. Вопросы безопасности в ЛИЭС .....	301
А.1. Планирование системы безопасности .....	301
А.2. Безопасность при работе с лазерами .....	301
А.3. Образование аэрозолей .....	303
А.4. Пожарная безопасность при работе с лазерами .....	303
<b>Литература</b> .....	304
Б. Рекомендуемые подходы в ЛИЭС при исследовании различ- ных образцов .....	305
<b>Литература</b> .....	309
В. Пределы обнаружения в ЛИЭС .....	309
В.1. Пределы обнаружения, известные в литературе .....	309
В.2. Унифицированные пределы обнаружения .....	330
<b>Литература</b> .....	333
Г. Важнейшие литературные источники по ЛИЭС .....	340
<b>Предметный указатель</b> .....	345