



СКВОРЦОВ Л.А.

**ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ
ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ
НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ**



ТЕХНОСФЕРА



М И Р **Физики и техники**

Л.А. Скворцов

Лазерные методы
дистанционного
обнаружения
химических
соединений
на поверхности тел

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2015

УДК 543.4
ББК 22.344
С42

Рецензенты:

Зверев Г.М., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой "Квантовой электроники" МФТИ (ГУ)
Максимов Е.М., д.т.н., главный научный сотрудник войсковой части 68240

С42 Скворцов Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 208 с. ISBN 978-5-94836-387-5

В монографии рассмотрены основные методы лазерной спектроскопии, используемые для дистанционного обнаружения и идентификации на поверхности тел следов взрывчатых веществ (ВВ), отравляющих (ОВ), наркотических (НВ) и токсичных веществ промышленного происхождения. Обсуждаются достоинства и недостатки каждого из методов, приводятся их сравнительные характеристики. Особое внимание уделено рассмотрению перспектив развития и практической реализации рассматриваемых технологий, а также обоснованию наиболее предпочтительных областей их применения. Проводится анализ проблем, которые еще требуют своего решения для практической реализации дистанционных методов детектирования следов сложных химических соединений на поверхности тел.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, работающих в области спектроскопии, лазерной физики, химии и связанных с разработкой информационно-измерительных комплексов, предназначенных для химического анализа поверхности удаленных объектов, а также может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, отравляющие вещества, наркотические вещества, токсичные вещества промышленного происхождения, лазерная спектроскопия, импульсная терагерцовая спектроскопия, терагерцовый имиджинг, лидары дифференциального поглощения, гипер/мультиспектральные изображения, *standoff* детектирование, следовые количества вещества, квантово-каскадные лазеры.

УДК 543.4
ББК 22.344

© Скворцов Л.А., 2014
© ЗАО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2014
ISBN 978-5-94836-387-5

Содержание

Предисловие.....	7
Глава 1	
Общие вопросы, связанные с обнаружением следов взрывчатых веществ на поверхности удаленных объектов	11
1.1. Введение	11
1.2. Спектральные особенности молекул, принадлежащих к классу ВВ.....	13
1.3. Особенности <i>standoff</i> спектроскопии.....	14
1.4. Проблема интерференции колебательно-вращательных спектров молекул.....	17
1.5. Лазеры и приемники излучения	18
1.5.1. Лазеры	18
1.5.2. Фотоприемники.....	22
Глава 2	
Рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния)	27
2.1. Физические основы метода	27
2.2. Конструктивные особенности рамановского спектрометра	29
2.3. Влияние длины волны лазерного излучения на величину сигнала	30
2.4. Ультрафиолетовая и резонансная рамановская спектроскопия..	32
2.5. Примеры практической реализации рамановской спектроскопии для <i>standoff</i> детектирования ВВ	34
Глава 3	
Спектроскопия индуцированного лазерным излучением пробоя	36
3.1. Физические основы метода и условия наблюдения спектральных линий	36



3.2. Методы повышения селективности LIBS	39
3.3. Выбор длины волны лазерного излучения	42
3.4. Резонансное увеличение эмиссии	45
3.5. Влияние длительности лазерного импульса на аналитические возможности LIBS	46
3.6. Используемые алгоритмы для идентификации ВВ	48

Глава 4

Лазерно-индуцированная флуоресценция продуктов фотофрагментации

51

4.1. Физические основы метода	51
4.2. Детектирование ВВ с применением метода PF-LIF	54
4.3. Пути увеличения чувствительности метода	57

Глава 5

ИК спектроскопия продуктов фотофрагментации

59

5.1. Физические основы метода и примеры его применения	59
5.2. Ограничение рассматриваемой технологии и возможности его преодоления	60

Глава 6

Спектроскопия когерентного антистоксова комбинационного рассеяния света

61

6.1. Классическая КАРС-спектроскопия и обоснование возможности ее применения для дистанционного обнаружения следов ВВ на поверхности тел	61
6.2. Однолучевая техника КАРС с применением фемтосекундных импульсов	62

Глава 7

Лазерная фототермическая спектроскопия

64

7.1. Физические основы и особенности фототермических методов ...	64
7.2. <i>Standoff</i> лазерная фотоакустическая спектроскопия для детектирования следов ВВ	66
7.3. <i>Standoff</i> лазерная дефлекционная спектроскопия и примеры ее применения	70

Глава 8

Метод формирования спектральных изображений	74
8.1. Мульти- и гиперспектральные изображения	74
8.2. Пассивный и активный методы формирования спектральных изображений	76
8.3. Применение активных методов для <i>standoff</i> детектирования ВВ	79
8.3.1. Формирование гиперспектральных изображений в рассеянном свете	79
8.3.2. Формирование гипер/мультиспектральных изображений в спектре теплового излучения	88
8.3.3. Рамановские гиперспектральные изображения	97
8.3.4. Гиперспектральные изображения, полученные с помощью <i>pump-probe</i> фототермической спектроскопии	99

Глава 9

Дистанционное обнаружение ВВ с помощью методов импульсной терагерцовой спектроскопии и активного имиджинга	103
9.1. Введение	103
9.2. Распространение терагерцового излучения в атмосфере	106
9.3. Спектральные особенности взрывчатых веществ в терагерцовом диапазоне частот	107
9.4. Основные виды источников и приемников терагерцового излучения	112
9.5. Импульсная терагерцовая спектроскопия и активное формирование спектральных изображений	122
9.5.1. Введение	122
9.5.2. Импульсная терагерцовая спектроскопия	123
9.5.3. Активное формирование спектральных изображений в терагерцовом диапазоне частот	125
9.6. <i>Standoff</i> детектирование взрывчатых веществ с помощью импульсной терагерцовой спектроскопии и активного имиджинга	126
9.6.1. Введение	126
9.6.2. Детектирование ВВ с помощью импульсной терагерцовой спектроскопии	127
9.6.3. Детектирование с помощью активных имиджинговых систем на основе квантово-каскадных лазеров, работающих в терагерцовом диапазоне частот	132

Глава 10	
Патенты	142
Глава 11	
Применение ККЛ для дистанционного обнаружения отравляющих веществ	144
11.1. Введение	144
11.2. Классификация дистанционных методов зондирования	145
11.3. Лидарный метод дифференциального поглощения.....	146
11.4. Спектральные особенности поглощения ОВ	149
11.5. Выбор оптимальных длин волн ДП-лидара для обнаружения ОВ в атмосфере.....	150
11.6. Результаты численного моделирования дальности зондирова- ния СО ₂ -лидара.....	152
11.7. Лидары на основе полупроводниковых ККЛ.....	154
11.8. Дистанционное детектирование ОВ на поверхности тел.....	158
Глава 12	
Применение ККЛ для дистанционного обнаружения наркотических и психотропных веществ	161
12.1. Введение	161
12.2. Физические методы обнаружения наркотических веществ	162
12.3. Физико-химические методы обнаружения НВ и ПВ	163
12.3.1. Введение	163
12.3.2. Спектрометрия ионной подвижности.....	164
12.4. Обоснование выбора методов дистанционного обнаружения НВ	168
12.5. Тактико-технические характеристики методов и оборудования для обнаружения наркотиков и психотропных веществ во вне- лабораторных условиях	171
Заключение	174
Литература	182