«Квантовая электроника», 14, № 5 (1987) УДК 621.373.826:533.9

С. М. Гладков, Н. И. Коротеев, М. В. Рычев, А. Б. Федоров

АКТИВНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ ЖЕЛЕЗА В ЭРОЗИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

Метод когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) применен для зондирования плазмы оптической искры на поверхности стальной мишени. В КАРС-спектре зарегистрированы пять сильных резонансов, обусловленных переходами между возбужденными состояниями атомов Fe I. Исследованы кинетика и поляризационные свойства рассеянного антистоксова излучения. Предложено использовать КАРС в плазме оптического пробоя твердых мишеней в качестве универсального метода анализа элементного состава.

До настоящего времени выполнено несколько экспериментов по КАРС в атомарных системах (см. [1, 2], а также [3] и ссылки там), причем во всех первых работах регистрировались спектры когерентного КРС в специально подобранных атомах с низко расположенными состояниями тонкой структуры. Эксперименты по КАРС в произвольных невозбужденных атомных системах затруднены, во-первых, из-за отсутствия у атомов большинства элементов подходящих низко расположенных уровней спин-орбитального расщепления основного состояния и, во-вторых, даже при наличии последних — из-за довольно низких, как правило, сечений КРС на соответствующих переходах и, соответственно, низкой чувствительности КАРС, особенно в легких атомах (C, F, N, O и т. п.) [4]. Последнее обусловлено очень высоким расположением первых возбужденных состояний и, следовательно, сильно нерезонансным характером КАРС в таких атомах.

Оба этих ограничения снимаются, если анализу с помощью КАРС подвергаются атомы, находящиеся в возбужденных состояниях, где плотность состояний гораздо выше (см. рис. 1, *б*). Четырехфотонные процессы, стартующие из возбужденных состояний атомов (в том числе и легких), носят квазирезонансный характер [5]. При этом спектры КАРС содержат большое число линий и возможны двукратные и более высокой кратности резонансные процессы.

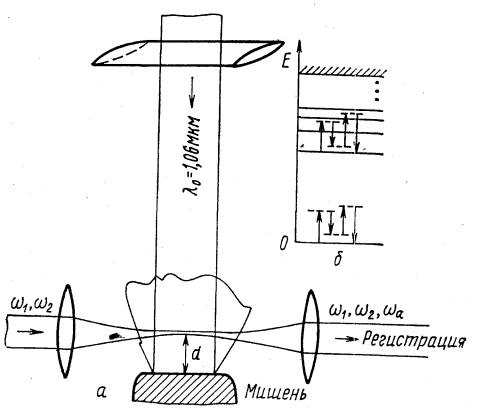

Рис. 1. Схема эксперимента (*а*) и иллюстрация эффективности четырехфотонных процессов на возбужденных состояниях атомов

В наших экспериментах исследовались спектры КАРС при регистрации сигнала на антистоксовой частоте $\omega_a=2\omega_1-\omega_2$ (ω_1, ω_2 — частоты второй гармоники YAG : Nd-лазера и лазера на красителе соответственно). Атомы Fe в возбужденных состояниях образовывались при разлете и остывании эрозионной плазмы оптической искры на поверхности мишени.

На рис. 1, *а* изображена схема эксперимента (см. также [3]). Плазма на поверхности стальной мишени создавалась излучением независимой лазерной системы (λ_a= =1,06 мкм, τ=15 нс, E=60 мДж). Излучение фокусировалось на мишень при помощи цилиндрической линзы. Атомы, покинувшие поверхность мишени, должны были преодолеть расстояние d, изменявшееся в эксперименте от 0,2 до 1,0 мм, прежде чем попасть в область зондирования диаметром 30 мкм.

Временно́е поведение активного сигнала при различных значениях d мы изучали изменением задержки импульса зондирования относительно возбуждающего им-

Линии, зарегистрированные в спектре КАРС при лазерном пробое мишени из нержавеющей стали, и их отнесение

λ_a	Нижний уровень			Верхний уровень		
	Мультиплет	J	Энергия, см	Мультиплет	J	Энергия, см
5012,1	a^5F	5	6 928	z^5F^0	5	26 875
5041,8	a^3F	4	11 976	z^3F^0	3	31 805
5049,8	a^3P	2	18 378	y^3D^0	3	38 175
5051,6	a^5F	4	7 377	z^5F^0	4	27 167
5083,3	a^5F	3	7 728	z^5F^0	3	27 395

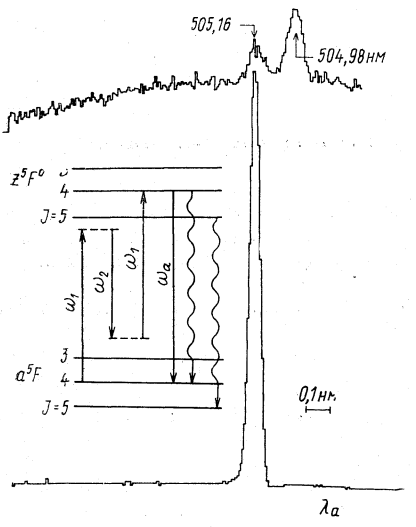

Рис. 2. Четырехфотонный резонанс, наблюдаемый в спектре КАРС в области λ_a=505 нм (внизу) и спектр некогерентного свечения атомов FeI (вверху). На вставке — схема нелинейно-оптического процесса и иллюстрация (волнистая линия) спектра свечения

пульса. Сигнал КАРС с λ_a=505,16 нм имел крутой передний фронт и довольно длинный задний с характерным временем ~5 мкс, обусловленный разлетом и остыванием атомов железа.

В спектральной области λ_a=504—508 нм мы зарегистрировали четыре интенсивные линии, которые могут быть легко интерпретированы как одно- и трехфотонные резонансы при переходах между возбужденными состояниями атома Fe I (см. таблицу и рис. 2). Мы наблюдали также линии в спектре КАРС и в других спектральных диапазонах — например, при λ_a= =501,22 нм (см. таблицу). Частотная привязка резонансов КАРС производилась сопоставлением с известными спектрами свечения плазмы электрической дуги [6].

Поляризационные измерения сигнала показали, что отношение $\rho = \chi^{(3)R}_{1221}/\chi^{(3)R}_{1111}$ для этой линии аномально: ρ=0,75±0,06, что, очевидно, обусловлено квазирезонансностью рассеяния. В отдельной серии экспериментов при замене стальной мишени углеродной мы также наблюдали большое число линий в спектре КАРС. Интерпретация этих спектров еще не завершена.

Таким образом, впервые осуществленная КАРС-спектроскопия возбужденных атомов в эрозионной плазме оптического пробоя поверхности металлической мишени и исследования спетральных, кинетических и поляризационных свойств рассеянного антистоксова излучения продемонстрировали на примере атомов Fe I новый метод элементного спектрального анализа. Он применим, по меньшей мере, во всех тех случаях, которые поддаются исследованию традиционными методами эмиссионного спектрального анализа. Новый метод характеризуется дистанционностью, высокой пространственной и спектральной селективностью, возможностью работы в условиях сильных мешающих засветок.

Авторы признательны С. А. Ахманову за плодотворные обсуждения и постоянное внимание к работе, С. Б. Бункину и А. В. Комиссарову за стимулирующие дискуссии и содействие при проведении экспериментов.

1. D. S. Moore. *Chem. Phys. Letts*, **89**, 131 (1982).
2. Е. Б. Александров, С. А. Ахманов, С. М. Гладков, Н. И. Коротеев, В. Н. Кулясов, А. Б. Федоров. *Оптика и спектроскопия*, **58**, 721 (1985); Тезисы докл. XII Всес. конф. по когерентной и нелинейной оптике, М., 1985, ч. 1, с. 256.
3. С. М. Гладков, Н. И. Коротеев, М. В. Рычев, В. Н. Сергеев, А. Б. Федоров. *Изв. АН СССР. Сер. физич.*, **50**, 1139 (1986).
4. R. E. Teets, J. H. Bechtel. *Optics Letts*, 458 (1981).
5. С. М. Гладков, Н. И. Коротеев, М. В. Рычев, О. Штенцель. *Письма в ЖЭТФ*, **15**, 227 (1986).
6. G. R. Harrison. Wavelength tables, USA, 8/46, p. 97.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова

Поступило в редакцию
27 августа 1986 г.

S. M. Gladkov, N. I. Koroteev, M. V. Rychev, A. B. Fedorov.

The Active Spectroscopy of Excited Iron Atoms in the Laser Eroison Plasma.

The method of the coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) of light has been employed to probe the optical spark plasma on a steel target surface. Five strong resonances have been recorded in the CARS spectrum. They have been attributed to transitions between the excited states of FeI atoms. The kinetics and polarizational properties of the scattered anti-Stokes radiation have been investigated. It is suggested that CARS be used in the optical breakdown plasma of solid targets as a universal method for analysis of the elemental composition.