

О ПОВЫШЕНИИ КОНТРАСТА СПЕКТРОВ ПРИ АКТИВНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Б. М. Григорова,^{*)} А. Т. Суходольский

УДК 535.375

Предлагается новый метод повышения контраста спектров при активной спектроскопии комбинационного рассеяния, который основан на интерференции света, рассеянного в исследуемом образце, с излучением, возникающим в дополнительно введенной среде, играющей роль "компенсатора". Оцениваются возможности данного метода.

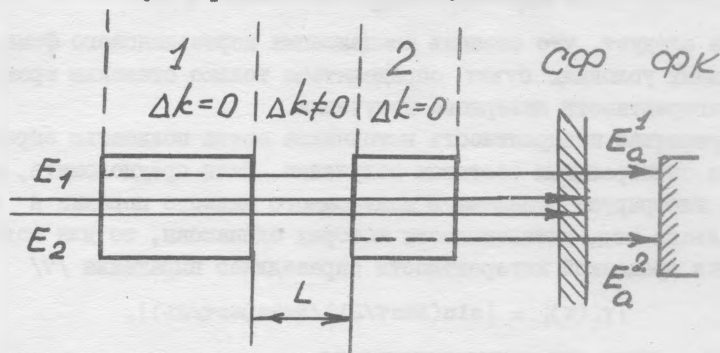
Известно, что несмотря на высокий уровень сигнала, применение метода активной спектроскопии комбинационного рассеяния света (АСКР) для аналитических целей ограничено /1/. Это связано с тем, что при исследовании слабых линий комбинационного рассеяния или малых концентраций примесей в растворах возникает трудности с выделением сигнала от исследуемого резонанса на фоне сигнала, обусловленного нерезонансной кубической нелинейностью. Поэтому в последнее время уделяется большое внимание поиску возможности устранения нерезонансного фона, что повышает обнаружительную способность метода АСКР. Среди известных методов улучшения контраста спектров АСКР можно отметить поляризационную методику /2,3/ и метод двойного оптического резонанса при АСКР /4,5/. Возможности поляризационной методики ограничены из-за деполяризации волн накачки в окнах киветы и в самой среде /2/. Для применения метода двойного резонанса, необходимо реализовать особые условия эксперимента /4,5/.

В настоящем сообщении предлагается новая, более универсальная методика компенсации и оцениваются ее возможности. Суть ме-

^{*)} Институт электроники Болгарской Академии наук.

тодики состоит в том, что на фотокатод регистрирующего устройства, кроме исследуемого рассеянного света, падает излучение от когерентного (опорного) источника на той же частоте. В результате когерентности процесса рассеяния на фотокатоде наблюдается не простое сложение интенсивностей, а результат интерференции между сигнальным и опорным пучками.

Рассмотрим условия компенсации и оценим возможности методики на примере эксперимента, схематично представленного на рис. 1. Используя выражения для амплитуд полей на частоте по-



Р и с. 1. Схема эксперимента по АСКР с компенсацией нерезонансного фона: 1 - исследуемая среда, 2 - среда - "компенсатор", СФ - спектральный фильтр прозрачный на частоте ω_a , L - расстояние между 1 и 2 в сухом воздухе, при котором E_a^1 и E_a^2 приобретают сдвиг по фазе, равный π , π - целое нечетное число; ФК - фотокатод

следуемого сигнала ω_a , который возникает за счет нелинейного оптического смещения падающих волн на частотах ω_1 и ω_2 (вида $\omega_a = 2\omega_1 - \omega_2$), можно получить выражение для суммарной интенсивности света на фотокатоде приемного устройства

$$I_z \approx (\chi_1^{(3)} E)^2 + (\chi_2^{(3)} E)^2 + 2\chi_1^{(3)} \chi_2^{(3)} E \cos(\varphi_1 - \varphi_2) |\gamma_t(\tau)| + 2\chi_1^{(3)} E \chi_1^{(3)R} + 2\chi_2^{(3)} E \chi_1^{(3)R} \cos(\varphi_1 - \varphi_2) |\gamma_t(\tau)| + (\chi_1^{(3)R})^2, \quad (I)$$

где $\chi_1^{(3)R}$ и $\chi_1^{(3)E}$ - резонансная и нерезонансная кубические

восприимчивости исследуемой среды, соответственно; $\chi_2^{(3)E}$ - кубическая восприимчивость среды, создавшей опорный сигнал; $|\chi_t(\tau)|$ - модуль степени временной когерентности /6/. Из выражения (I) следует, что если выбрать амплитудные (а) и фазовые (б) условия эксперимента таким образом, что: а) $\chi_1^{(3)R} = \chi_2^{(3)E}$ и б) $\Delta\varphi = m\pi$, где m - целое нечетное число, а $\Delta\varphi$ - разность фаз между ив эрферирующими пучками, то суммарная интенсивность будет описываться выражением

$$I_2 \approx 2(\chi_1^{(3)E})^2 - 2(\chi_1^{(3)E})^2 |\chi_t(\tau)| + 2\chi_1^{(3)E} \chi_1^{(3)R} - 2\chi_1^{(3)E} \chi_1^{(3)R} |\chi_t(\tau)| + (\chi_1^{(3)R})^2. \quad (2)$$

Отсюда следует, что степень компенсации нерезонансного фона в указанных условиях будет определяться только степенью временной когерентности лазерного излучения.

Временная когерентность источников света полностью определяется спектральным составом излучения. Если предположить, что лазер генерирует поперечную моду самого низкого порядка и N продольных мод, интенсивности которых одинаковы, то для модуля степени временной когерентности справедливо выражение /7/

$$|\chi_t(\tau)| = |\sin(N\pi c\tau/2l) / N \sin(\pi c\tau/2l)|, \quad (3)$$

где l - длина лазерного резонатора.

Контраст спектра определяется отношением квадратов резонансной и нерезонансной частей кубической нелинейной восприимчивости исследуемой среды: $k = |\chi^{(3)R}|^2 / |\chi^{(3)E}|^2$.

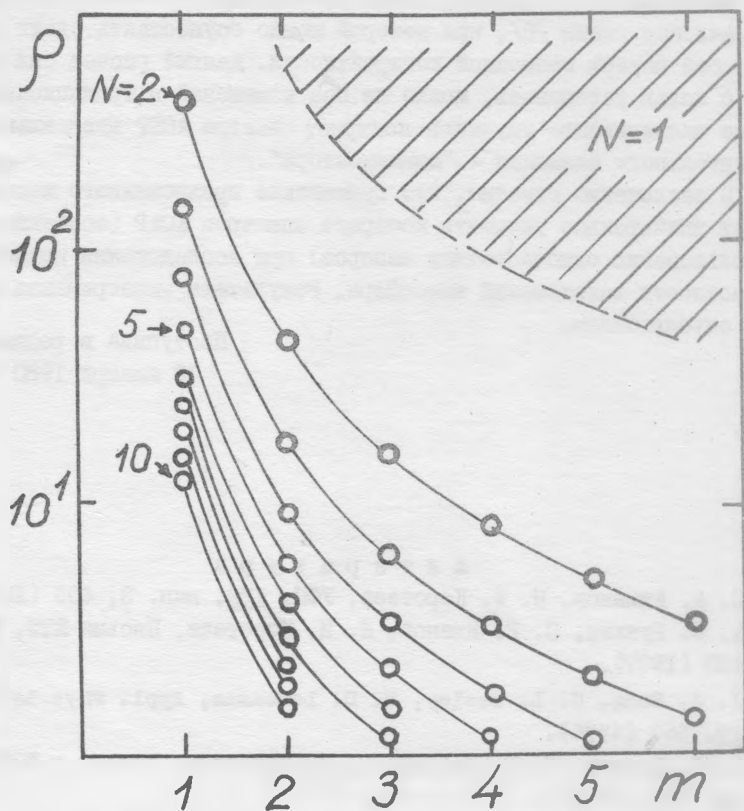
Для оценки степени компенсации введем параметр ρ , который выражается через контраст спектра до и после компенсации (k_1 и k_2 соответственно)

$$\rho = k_1/k_2. \quad (4)$$

Величина ρ при условиях компенсации определяется через степень временной когерентности следующим образом:

$$\rho = (1/2)(1 - |\chi_t(\tau)|)^{-1}. \quad (5)$$

На рис. 2 показана зависимость степени компенсации от порядка интерференции m для лазеров с разным числом генерируемых продольных мод N . При одночастотном режиме генерации ($N = 1$) ρ не обращается в бесконечность вследствие конечной ширины линии



Р и с. 2. Зависимость степени компенсации ρ от порядка интерференции m , рассчитанная для $L = 0,8m$ см, $l = 25$ см; $\omega_1 = 18797$ см $^{-1}$, $\omega_2 = 17509$ см $^{-1}$ (кружки). Заштрихованный участок соответствует одночастотному режиму генерации лазера ($N = 1$) и конкретные значения ρ определяются шириной линии излучения

излучения лазера. Предварительные оценки показывают, что при использовании одночастотного лазера можно получить компенсацию на три порядка и более, в зависимости от конкретной ширины линии.

Заметим, что очевидно, более оптимальной является интерферометрическая схема /8/, при которой можно осуществить сдвиг по фазе без потери временной когерентности. Данный расчет был проведен с целью установить, можно ли без изменений в традиционной схеме эксперимента улучшить контраст спектра АСКР введением дополнительного элемента - "компенсатора".

В заключение отметим, что применение предложенного метода может значительно улучшить контраст спектров АСКР (особенно при использовании одночастотных лазеров) при исследовании примесей, в частности загрязнений атмосферы. Результаты эксперимента будут опубликованы.

Поступила в редакцию
18 января 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. С. А. Ахманов, Н. И. Коротеев, УФН, 123, вып. 3, 405 (1977).
2. А. Ф. Бункин, С. Г. Иванов, Н. И. Коротеев, Письма ЖТФ, 3, 450 (1977).
3. J. J. Song, G. L. Esley, M. D. Levenson, Appl. Phys.Lett., 29, 567 (1976).
4. А. Ф. Бункин, С. Г. Иванов, Н. И. Коротеев, Письма в ЖЭТФ, 24, 468 (1976).
5. А. Т. Суходольский, Письма в ЖЭТФ, 27, 185 (1978).
6. М. Борн, Э. Вольф. Основы оптики, Изд. "Наука", М., 1973 г.
7. Справочник по лазерной технике. Изд. "Техника", Киев, 1978 г.
8. A. Owyong, IEEE Journ. QE-14, 192 (1978).