

### Результаты измерений

Интервал времени проведенных измерений, мин	Интервал изменения температуры $\Delta, ^\circ\text{К}$	Изменение фазы СВЧ — сигнала $\Delta\Phi^\circ$
160	6	-7
135	5	-5
190	6	-6
120	5	-5
90	2	-3
120	4	-5
120	0	0
130	-2	2
155	0	0
90	2	-3
120	-1	2
240	3	-4
125	2	-4
245	6	-8
175	4	-6
170	3	-4

Из (6) следует возможность компенсации сдвига фазы путем введения дополнительных стеклянных элементов, подобранных соответствующим образом при осуществлении контроля на фазометре или из расчетных данных, приведенных для заданного интервала  $\Delta T$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Просин Б. В.— «Радиотехника и электроника», 1968, № 12, 2191.
2. Лукин В. П. и др.— «Радиотехника и электроника», 1973, № 3, 502.
3. Зуев В. Е., Кабанов М. В. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере в условиях помех. М., 1977, 29.
4. Шереметьев А. Г., Толпарев Р. Г. Лазерная связь. М., 1974, 145.

Поступила в редакцию  
20/VI 1977 г.

НИИ ПФП

УДК 621.375.82

*Е. С. ВОРОПАЙ, А. М. САРЖЕВСКИЙ,*

*[А. Н. СЕВЧЕНКО] П. А. ТОРПАЧЕВ*

## ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ДВУХФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ

Вероятность многофотонных процессов на несколько порядков меньше вероятности однофотонных, поэтому при исследованиях, в частности, двухфотонного поглощения (ДФП) обычно регистрируют следующий за поглощением вторичный процесс. В этом случае измеряются, строго говоря, спектры двухфотонного возбуждения, которые не всегда идентичны спектрам двухфотонного поглощения [1]. Кроме того, спектры ДФП являются более информативными, что и вызывает повышенный интерес к их исследованию.

Среди методов изучения ДФП следует выделить прежде всего внутристационарные [2—4] и оптико-акустический [5, 6]. Общим недостатком этих методов является трудность градуировки, от качества которой

и воспроизводимости условий эксперимента зависит точность измерений. Определенный вклад в ошибку измерений могут вносить также процессы неактивного поглощения. Кроме того, установки для реализации внутрирезонаторных методов отличаются сложностью.

Весьма чувствительным является метод обращения функций источника перестраиваемого излучения и лазера фиксированной частоты [7]. Он, однако, требует применения достаточно мощного лазера непрерывного действия с очень высокой стабильностью и специального приемника излучения.

Существенное повышение чувствительности измерения ДФП достигается путем применения лазеров, работающих в частном режиме [8]. Проводя статистическое усреднение результатов измерений, можно достичь высокой чувствительности, однако, необходимая при этом автоматизация требует очень сложной электронной аппаратуры.

Предлагаемая установка для измерения ДФП основывается на измерении разности интенсивностей входящего и выходящего из исследуемого вещества светового луча.

Уравнение, описывающее поглощение двух фотонов одной частоты в однородной и изотропной среде имеет вид

$$dF = -\delta^2 \Phi n_0 F^2 dx - a F dx,$$

где  $\delta^2 \Phi$  — сечение ДФП;  $F$  — плотность потока энергии;  $n_0$  — число частиц в единице объема;  $x$  — координата, вдоль которой распространяется возбуждающий световой поток;  $a$  — коэффициент, учитывающий линейные потери (поглощение, рассеяние).

Обычно сечение ДФП измеряется на частоте, для которой однофотонный резонанс отсутствует, так как в этом случае ослаблением вследствие однофотонного поглощения можно пренебречь. Если невелики и другие линейные потери, сечение ДФП может быть вычислено по формуле

$$\delta_{2\Phi} = \frac{\Delta F}{F_0 F_e n_0 l}, \quad (1)$$

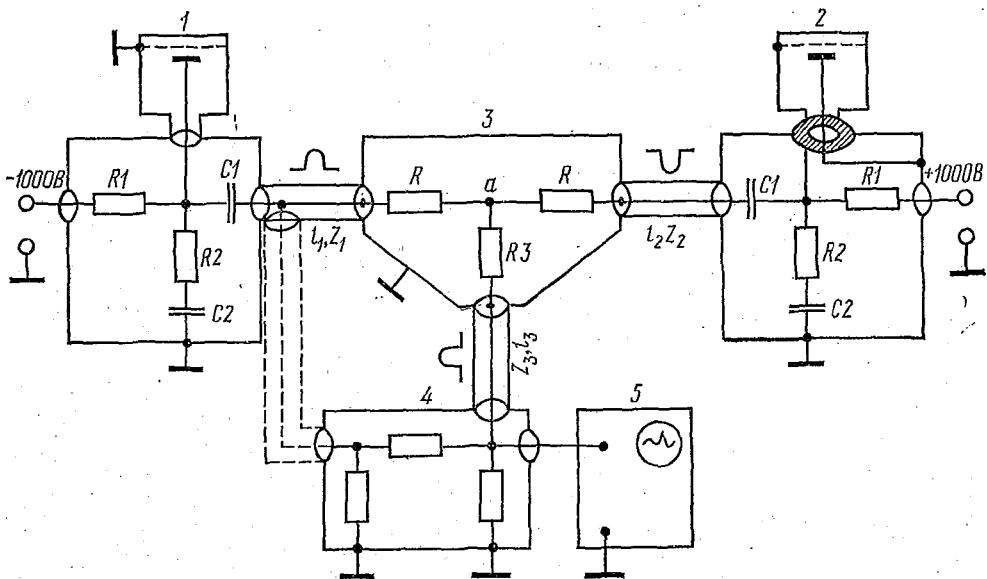
где  $F_0$  и  $F_l$  — плотность потока фотонов соответственно на входе и на выходе из образца длиной  $l$ .

Оценки показывают, что при линейных потерях 20% определение сечения по этой формуле дает ошибку 2%.

Сечение ДФП составляет величину порядка  $10^{-49}$ — $10^{-52}$  см<sup>4</sup>·с× $\times$ фотон<sup>-1</sup>, что дает для растворов средних концентраций и плотностей потока фотонов десятки МВт/см<sup>2</sup> величину ослабления возбуждающего светового потока  $\sim 1\%$ . Вследствие этого в качестве источника возбуждения необходимо применять мощные импульсные лазеры, а при измерении величины светового потока на входе и выходе из исследуемого вещества требуется большая точность измерений.

Однако, как видно из уравнения (1), для определения сечения ДФП можно ограничиться измерением разности сигналов, пропорциональных интенсивностям светового потока на входе и выходе из образца.

Для образования разности необходимо получить положительный и отрицательный импульсы. На рисунке изображена схема включения фотоэлементов, образования разности и ее регистрации. Положительный импульс формировался коаксиальным фотоэлементом типа ФЭК-15КП со стандартной схемой включения. Отрицательный импульс образовался при заземлении катода и изоляции от земли анода, связанного с корпусом ФЭК. Напряжение, подаваемое при этом на анод, противоположно по знаку по сравнению со стандартным включением. Оба импульса должны приходить в точку их сложения одновременно, для чего необходимо равенство оптических и электрических путей обоих сигналов.



Принципиальная схема системы регистрации разности двух импульсных сигналов:  
 1, 2 — коаксиальные фотоэлементы ФЭК-1БКП; 3 — ячейка образования разности; 4 — делитель напряжения; 5 — осциллограф

Разность электрических сигналов образовывалась в специальной, хорошо экранированной от внешних воздействий ячейке с тремя коаксиальными входами, согласованными с волновыми сопротивлениями кабелей  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ , содержащей сопротивления  $R$  и  $R_3$ . Выбор номиналов этих сопротивлений проводится таким образом, чтобы каждый импульс, идущий от фотоэлемента, приходил в точку сложения  $a$  без отражений. Для этого необходимо согласовать с кабелем все точки перехода. Например, для импульса, идущего из фотоэлемента 1, волновое сопротивление ветвей  $l_2$  и  $l_3$  должно равняться 75 Ом. Номиналы сопротивления определяются из следующего уравнения:

$$R_{\text{вх}} = R + \left( \frac{1}{R_3 + Z_3} + \frac{1}{R + Z_2} \right),$$

где  $Z_2$  и  $Z_3$  — волновые сопротивления кабелей  $l_2$  и  $l_3$ .

Для уменьшения влияния паразитных импульсов в качестве сопротивлений  $R$  и  $R_3$  следует использовать малоиндуктивные СВЧ-сопротивления, а также избегать укладки кабелей замкнутыми витками. Длина кабелей  $l_1$  и  $l_2$  выбиралась таким образом, чтобы разделить во времени основные сигналы и возникающие за счет отражений на неполнотую согласованных с кабелем точках перехода. Кабель для передачи сигналов должен иметь малый коэффициент потерь и хорошую экранировку. В нашей установке применен кабель РК-75-9-13 с  $l_1=l_2=l_3=6$  м.

Учитывая то обстоятельство, что импульсы возбуждающего лазера могут изменяться от вспышки к вспышке как по форме, так и по амплитуде, в нашей установке наряду с разностью предусмотрена одновременная регистрация входного сигнала. В этом случае вводятся делитель напряжения и кабель  $l_4$ . Длина кабелей  $l_3$  и  $l_4$  должна обеспечивать разделение во времени входного и разностного импульсов при регистрации на однолучевом осциллографе. При использовании двухлучевого осциллографа каждый из импульсов подается на отдельный вход.

Для определения абсолютной величины сечения ДФП необходима предварительная градуировка системы. Ее удобно проводить с помощью

образца, поглощающего возбуждающее излучение. Им может служить раствор, линейно поглощающий возбуждающее излучение и не просветляющийся под его действием. Преимущество растворов заключается в возможности помещения их в кювету переменной толщины, где путем подбора соответствующей концентрации можно изменять поглощение на несколько процентов.

Градуировка заключается в определении зависимости величины поглощения от концентрации эталонного раствора и толщины кюветы на длине волны лазера, возбуждающего ДФП. Такие измерения проводились нами на спектрофотометре SPEKORD UV VIS, а в качестве эталонного служил раствор  $\text{CuSO}_4$  в воде. Затем для эталонного раствора измеряют зависимость амплитуды разностного сигнала от толщины кюветы и концентрации раствора, значениям которых соответствует определенная величина поглощения, найденная градуировкой.

В качестве приемников излучения мы применяли коаксиальные фотоэлементы ФЭК-15КП. Это обусловлено малым уровнем их шумов, высокой временной стабильностью и широкой полосой пропускания. Сигнал, снимаемый с фотоэлемента, может иметь амплитуду десятки вольт, поэтому чувствительность осциллографа существенно не влияет на нижний уровень измеряемого поглощения. Это обусловлено тем, что при большом исходном сигнале даже в случае малого поглощения характеризующий его разностный сигнал имеет значительную амплитуду. В отличие от методов измерений амплитуд входного и выходного сигналов по отдельности минимальный регистрируемый уровень поглощения зависит не от точности примененного измерителя, а от степени идентичности импульсов обоих фотоэлементов по форме и условий прохождения сигналами кабельных линий от фотоэлемента до точки образования разности.

Контрольные эксперименты, проведенные с эталонными поглотителями, показали, что с помощью описанного метода можно измерять поглощение порядка процента.

Метод может быть использован в комбинации с методом, описанным в работе [9]. В этом случае можно ожидать повышения чувствительности еще на порядок.

Предлагаемый метод позволяет применить для возбуждения ДФП с сохранением точности измерений импульсные лазеры с малой частотой повторения импульсов, характеризующихся, как правило, более высокой мощностью. Это позволяет за счет увеличения коэффициента ДФП обеспечить более высокую точность измерений. Кроме того, метод является наиболее простым по способу измерений и требованиям к системам возбуждения и регистрации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Drucker R. P., McClain W. M.—«J. Chem. Phys.», 1974, 61, 2609.
2. Батище С. А., Мостовников В. А., Рубинов А. Н.—«Квантовая электроника», 1976, 3, № 11, 2516.
3. Kleinschmidt J., Rentsch S., Tottleben W.—«Exp. Techn. Phys.», 1974, № 3, 191.
4. Торр М. Р., Rentzepis P. M.—«Phys. Rev.», 1971, A3, 358.
5. Бонч-Бруевич А. М., Разумова Т. К., Старобогатов И. О.—«Письма в ЖТФ», 1975, 1, 65.
6. Бонч-Бруевич А. М., Разумова Т. К., Старобогатов И. О.—«Опт. и спектр.», 1977, 42, 82.
7. Swofford R. L., McClain W. M.—«Rev. Sci. Instrum.», 1975, 46, 246.
8. Fröhlich D.—Polaritons Proc. Inst. Taormina, Conf. Struct. Matter, New York, 1972.
9. Бредихин В. И.—«ПТЭ», 1975, № 5, 187.