

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПИКОСЕКУНДНЫХ ВРЕМЕН РЕЛАКСАЦИИ
ПРОСВЕТЛЯЮЩИХСЯ СРЕД С ПОМОЩЬЮ "ШУМОВЫХ" ПУЧКОВ
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

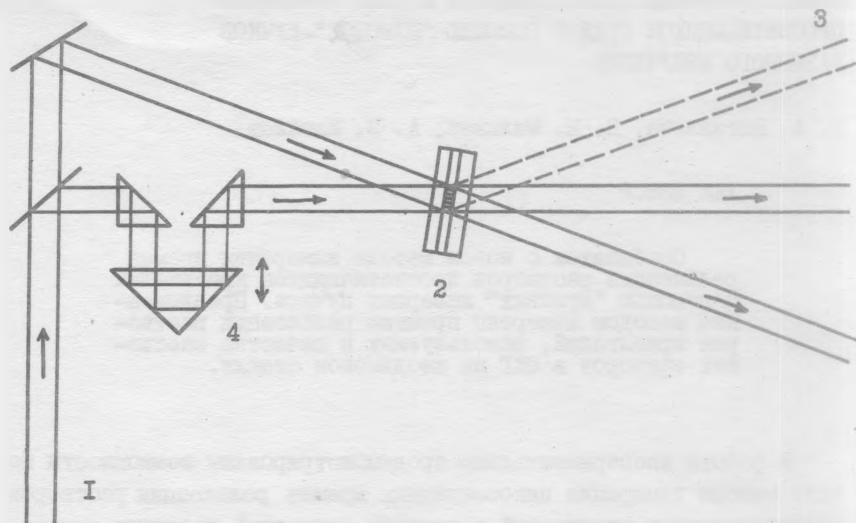
М. А. Васильева, В. И. Малышев, А. В. Масалов

УДК 535.8

Сообщается о новом методе измерения времен релаксации растворов просветляющихся красителей с помощью "шумовых" лазерных пучков. Предложенным методом измерены времена релаксации растворов красителей, используемых в качестве пассивных затворов в ОКГ на неодимовом стекле.

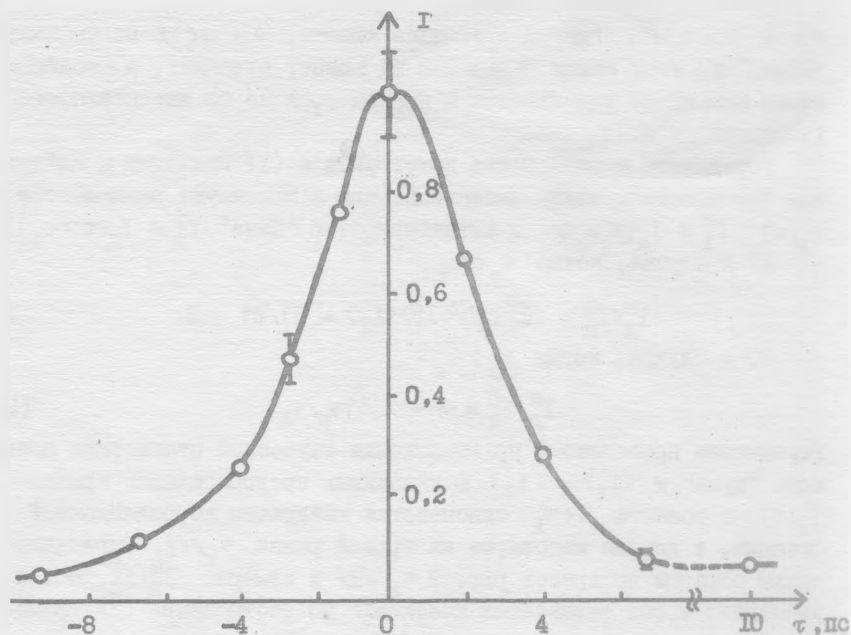
В работе экспериментально продемонстрированы возможности нового метода измерения пикосекундных времен релаксации растворов просветляющихся красителей с помощью "шумовых" лазерных пучков. Метод основан на измерении отклика просветляющихся красителей на движущееся пространственно-периодическое световое возмущение. Если в область пересечения двух лазерных пучков поместить просветляющийся краситель, то в нем образуется решетка просветления в соответствии с интерференционной структурой светового поля. При пучках, некогерентных по отношению друг к другу, интерференционная картина в области их пересечения не является стационарной, т.е. положения интерференционных максимумов изменяются за времена корреляции, обратные ширине спектра излучения. Если время релаксации красителя τ_p мало по сравнению с временем корреляции излучения τ_k , то решетка просветления успевает следить за интерференционной структурой поля. В случае большого времени релаксации решетка просветления смазывается, ее глубина модуляции резко уменьшается. Для обнаружения указанных решеток просветления в красителе в предлагаемом методе используется явление самодифракции пучков. Глубина модуляции просветления решеток, влияющая на интенсивность дифракции пучков, определяется соотношением

времени корреляции излучения и времени релаксации красителя. Таким образом, зависимость интенсивности самодифракции от скорости изменения интерференционной структуры поля содержит информацию о времени релаксации красителя.



Р и с. 1. Схема измерения времени релаксации просветляющегося красителя. I - "шумовое" излучение неодимового лазера; 2 - кювета с красителем; 3 - дифракционный пучок; 4 - регулируемая линия задержки

Экспериментально метод был осуществлен по следующей схеме (рис. 1). В кювете с красителем под некоторым углом пересекались два лазерных пучка, один из которых направлялся в кювету с изменяемой задержкой τ по отношению к другому. Оба пучка генерировались многочастотным импульсным лазером на неодимовом стекле, добротность которого модулировалась с помощью пассивного затвора, обладающего значительным временем релаксации (несколько наносекунд), так что фазы генерируемых продольных мод лазерного излучения были несинхронизованы, т.е. излучение носило "шумовой" характер. Измерялась энергия в одном из дифракционных пучков в зависимости от времени задержки τ между падающими на кювету пучками. Вид этой зависимости приведен на рис. 2.



Р и с. 2. Экспериментальная зависимость интенсивности дифракции I от времени задержки τ при $\tau_p > \tau_r$

Выражение для интенсивности дифракции в зависимости от времени задержки τ в предположении экспоненциальной релаксации нелинейной среды с временем релаксации τ_p имеет вид:

$$I_d(\tau) = \langle T(1 - T)^2 I_1(t) / I_0^2(t) \times \\ \times \int_{-\infty}^t \int_{-\infty}^t I_1(t') I_2(t'') \exp\left[-\frac{t-t'}{\tau_p}\right] \exp\left[-\frac{t-t''}{\tau_p}\right] dt' / \tau_p dt'' / \tau_p \rangle, (I)$$

где $I_2(t) = I_1(t + \tau)$ - интенсивности падающих на кивету пучков, T - начальное пропускание красителя, I_0 - интенсивность просветления красителя. Усреднение производится по ансамблю значений интенсивностей, реализованных за время измерения (за один импульс лазера).

Зависимость (I) записана в предположении, что слой красителя

тонок ($d < \lambda/\varphi^2$, где d - толщина кюветы, λ - длина волны излучения, φ - угол между падающими на кювету пучками), а нелинейность красителя учитывается в первом порядке по интенсивности излучения, т.е. $I_{1,2} \ll I_0$.

Усреднение и вычисление интегралов в (I) приводит к следующим соотношениям между интенсивностью в максимуме зависимости $I_D(\tau)$ $I_D^M = I_D(\tau = 0)$ и интенсивностью "фона" $I_D^{\bar{\Phi}} = I_D(\tau \gg \tau_k)$:

а) в случае, когда $\tau_p \ll \tau_k$

$$I_D^M / I_D^{\bar{\Phi}} = \langle I_1^2 I_2 \rangle / \langle I_1^2 \rangle \langle I_2 \rangle = 3! / 2! = 3, \quad (2)$$

б) в случае, когда $\tau_p > \tau_k$

$$I_D^M / I_D^{\bar{\Phi}} = 2 + 2,67 \tau_p / \tau_k. \quad (3)$$

Усреднение проведено в предположении гауссовой статистики лазерного "шума" и $\langle I_1 \rangle = \langle I_2 \rangle$. В указанных предположениях кривая $I_D(\tau)$ в области $\tau \ll \tau_k$ описывается квадратом корреляционной функции, а ширина максимума на кривой равна $\tau_k / \sqrt{2}$. Определив таким образом по кривой рис. 2 τ_k / I и измерив $I_D^M / I_D^{\bar{\Phi}}$, можно вычислить время релаксации красителя из соотношения (3). Заметим, что необходимое условие $\tau_p > \tau_k$ может быть выполнено соответствующим изменением ширины спектра генерации лазера.

Выражение (I) показывает кубическую зависимость I_D от интенсивности падающего излучения. Из этого же выражения следует, что интенсивность дифракции при прочих равных условиях имеет наибольшую величину при $T = I/3$.

В связи с проведенным анализом в эксперименте использовались кюветы толщиной 0,1 мм, начальное пропускание красителя T было близким к I/3. Интенсивности падающих пучков были равными и на два порядка меньше, чем интенсивность просветления. Нижний предел интенсивности падающего излучения определялся вкладом в измеряемый сигнал рассеянного раствором красителя света. Дифракционные сигналы нормировались на третью степень интенсивности падающих пучков. Угол между пучками составлял 0,05 рад. При диаметре пучка 2 мм и таком угле разности хода лучей на краях области взаимодействия с красителем отличаются на величину, малую по сравнению с τ_k , и не вносят ошибку в измерения.

Исследуемым объектом был раствор красителя № 3955 в нитробензоле. Время корреляции используемого излучения 6,8 пс. Изме-

ренное время релаксации составляет 48 ± 5 пс и находится в хорошем соответствии с данными, полученными методом зондирующего пучка /2/ и по кривым просветления /3/.

Это совпадение говорит о пригодности предлагаемого метода для измерения быстрорелаксирующих процессов без использования одиночных ультракоротких импульсов, что является достоинством метода. Состоятельность метода подтверждает также экспериментально полученное отношение $I_D^M/I_D^D = 3$ в условиях, когда $\tau_p < \tau_k$. Этот эксперимент был выполнен для красителя № 3955, растворенного в нитробензоле, и более узкого спектра излучения, когда $\tau_p \approx 70$ пс. Однако при этом имели место большие флуктуации энергий дифракционных пучков в области задержек $\tau < \tau_k$.

Следует отметить, что данным методом можно измерять большие времена релаксации, такие, измерение которых методом зондирующего импульса связано с трудностями осуществления соответствующих больших регулируемых линий задержки.

К числу достоинств метода относится также возможность измерения времени релаксации сред с другими типами нелинейного отклика.

Поступила в редакцию
13 ноября 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. М. А. Васильева, В. И. Малышев, А. В. Масалов, Изв. АН СССР, сер. физ., **42**, 2589 (1978); Краткие сообщения по физике ФИАН № 7, 39 (1978).
2. М. А. Васильева, В. И. Малышев, А. В. Масалов, Краткие сообщения по физике ФИАН № 7, 33 (1978).
3. В. А. Бабенко, В. И. Малышев, А. А. Сычев, Квантовая электроника **3**, 1743 (1976).