

МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ ПАССИВНОГО ЗАТВОРА ОКГ НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ

В. А. Бабенко, В. И. Малышев, А. А. Сычев

Теоретические работы [1, 2] показывают, что излучение ОКГ с быстрорелаксирующим пассивным затвором должно представлять собой одиночные ультракороткие импульсы (УКИ) с длительностью $\Delta t \sim (c \Delta \nu)^{-1}$, где $\Delta \nu$ – ширина спектра генерации. Однако для широко используемых пассивных затворов ОКГ на неодимовом стекле время релаксации зазеленности рабочих уровней $\tau_{\text{рел}} > \Delta t$ [3, 4] и при этом на аксиальном периоде излучения ОКГ выделяются группы близкорасположенных импульсов. Длительность этих групп может быть различной и по порядку величины равна $\tau_{\text{рел}}$. Поэтому с точки зрения выделения одиночных УКИ, а, следовательно, значительного повышения мощности ОКГ актуальной задачей является создание пассивного затвора с возможно меньшим временем релаксации. Здесь возможны два пути: первый – поиски новых красителей, второй – уменьшение времени релаксации уже известных красителей за счет изменения различных физических факторов, влияющих на длительность возбужденного состояния молекул красителя.

Известно, что время жизни возбужденного состояния молекул красителя определяется не только структурой молекулы, но зависит и от свойств окружающей среды [5]. Изменяя характеристики этой среды,

такие как природа растворителя, его температура, вязкость и т. п., можно ожидать изменения времени релаксации красителя. В настоящей работе была предпринята попытка воздействовать на краситель с целью уменьшения его времени релаксации за счет эффектов, связанных с изменением концентрации раствора, одним из которых может быть хорошо известный эффект концентрации тушения.

К сожалению, в настоящее время не существует надежных прямых методов измерения времени релаксации красителей в области времен $10^{-12} \div 10^{-11}$ сек. Однако можно воспользоваться методом, предложенным в работе [3], оценки времени релаксации пассивного затвора ОКГ по наименьшей длительности выделяемых групп УКИ. Наличие групп УКИ в излучении ОКГ с пассивным затвором, для которого $\tau_{\text{рел}} > \Delta t$, приводит к образованию характерного "плато" на треке двухфотонной люминесценции (ДФЛ). Это позволяет по протяженности "плато" определить длительность T групп УКИ а, следовательно, и оценить время релаксации красителя по наименьшему значению T для каждой концентрации раствора.

Увеличение концентрации раствора при неизменном значении пропускания пассивного затвора T_{ϕ} , которое составляло $T_{\phi} = 50\%$, потребовало использования кювет малой толщины. Поэтому, кроме обычно используемой кюветы толщиной 1 мм, в работе применялись кюветы толщиной 40, 6 и 3 мкм.

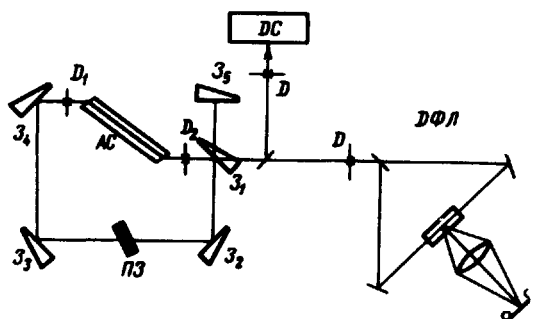


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: АС – активный стержень (неодимовое стекло) $\varnothing 15 \times 260$ мм³, ПЗ – кювета с пассивным затвором. Коэффициенты отражения зеркал: $R_1 = 0,82$, $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 1,0$. Зеркало Z_5 служит для получения режима "бегущей" волны. ДС – дифракционный спектрограф с разрешением

$0,15 \text{ см}^{-1}$. ДФЛ – установка для регистрации треков двухфотонной люминесценции. Длина резонатора равна 200 см. Для выделения и исследования излучения только аксиальных мод ОКГ в резонаторе устанавливались диафрагмы D_1, D_2 диаметром 2 мм, а вне его – диафрагмы D

Кювета с раствором красителя №3955 в нитробензоле помещалась под углом Брюстера в кольцевой неселективный резонатор ОКГ, образованный зеркалами Z_1+Z_4 (рис. 1). Обработка ~ 100 микрофотограмм треков ДФЛ показала, что протяженность "плато" уменьшается при увеличении концентрации. Для иллюстрации на рис. 2, а, в приведены типичные микрофотограммы треков ДФЛ для кювет толщиной $\ell = 1$ мм и $\ell = 3$ мкм. На рис. 3, а, б показано число случаев наблю-

дения групп УКИ длительностью T для кювет тех же толщин. Полученные результаты показывают, что длительность выделяемых пассивным затвором групп УКИ с увеличением концентрации раствора значительно уменьшается.

Заметим, что авторы работы [6] полагают, что уменьшения длительности групп УКИ можно достичь уменьшением толщины кюветы, считая время релаксации красителя неизменным. Однако с нашей точки зрения при больших концентрациях раствора красителя необходимо прежде всего учитывать изменение его времени релаксации, причем это изменение, как будет показано, является определяющим фактором уменьшения длительности групп УКИ в излучении ОКГ. Для подтверждения этого мы поставили контрольный эксперимент с ОКГ, работающим в режиме "бегущей" волны, исключив тем самым эффект переналожения в кювете распространяющихся навстречу один другому импульсов. Режим "бегущей" волны осуществлялся за счет использования возвратного зеркала Z_3 в кольцевой схеме резонатора ОКГ (рис. 1).

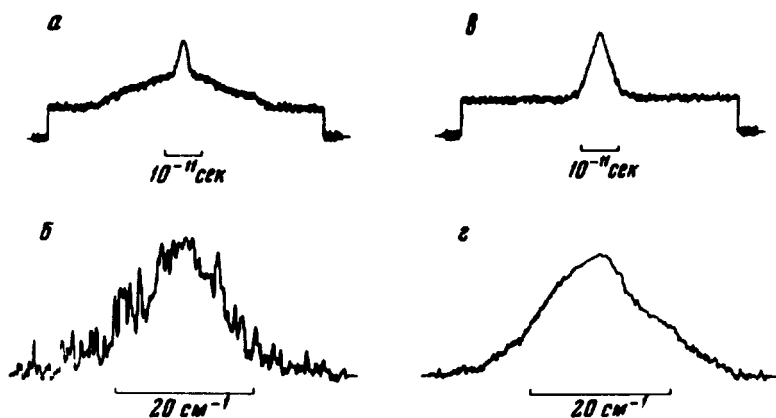


Рис. 2. Микрофотограммы одновременно снятых треков ДФЛ и спектров излучения ОКГ при толщинах кюветы: $l = 1$ мм (а, б) и $l = 3$ мм (в, г)

При этом отношение интенсивностей прямой и обратной волн составляло не менее 50. Результаты этого эксперимента показали, что в ОКГ "бегущей" волны так же, как и в ОКГ, работающем в режиме стоячих волн, при увеличении концентрации раствора красителя длительность групп УКИ уменьшается на порядок от $\sim 4 \cdot 10^{-11}$ до $\sim 4 \cdot 10^{-12}$ сек. При этом распределение длительности выделяемых групп УКИ аналогично приведенному на рис. 3, а.

Таким образом, эксперимент с ОКГ, работающим в режиме "бегущей" волны, показывает, что определяющим фактором уменьшения длительности групп УКИ является уменьшение времени релаксации красителя. На основании приведенных экспериментальных данных (рис. 3) можно сделать заключение о том, что увеличение концентрации раствора красителя (при уменьшении толщины кюветы от 1 мм до

3 мкм) приводит к уменьшению времени релаксации по крайней мере на порядок.

Такое значительное уменьшение времени релаксации пассивного затвора привело к появлению отличительных особенностей в экспериментально наблюдаемых временных и спектральных характеристиках излучения ОКГ с пассивным затвором. Основной тенденцией в изменении спектров при увеличении концентрации раствора красителя является увеличение их ширины, а также сглаживание структуры вплоть до появления "гладких" спектров (рис. 2, б, в), что не наблюдается для кювет толщиной 1 мм. Такое сглаживание структуры спектров на временном языке означает уменьшение количества УКИ в группе вплоть до выделения одиночных импульсов.

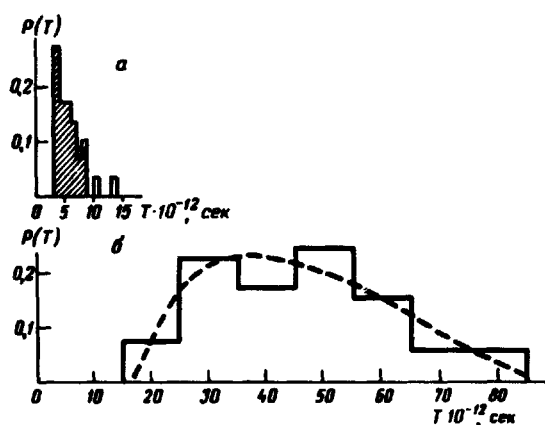


Рис. 3. Экспериментально полученное распределение плотности вероятности $P(T)$ длительности групп УКИ для кювет с толщиной $\ell = 3 \text{ мкм}$ (а) и $\ell = 1 \text{ мкм}$ (б). Ширина столбиков равна удвоенной ошибке измерения ($\sim 10\%$)

Обращает также на себя внимание, что при переходе к раствору с большей концентрацией наблюдается увеличение разброса в значениях ширины спектра излучения от вспышки к вспышке. Для ОКГ с кюветой толщиной $\ell = 1 \text{ мм}$ ширина спектра от вспышки к вспышке изменялась в пределах от $\Delta\nu = 2,5 \text{ см}^{-1}$ до $\Delta\nu = 13 \text{ см}^{-1}$, а для $\ell = 3 \text{ мкм}$ от $\Delta\nu = 2 \text{ см}^{-1}$ до $\Delta\nu = 60 \text{ см}^{-1}$. Увеличение разброса ширины спектров согласуется с представлениями, развитыми в работе [7], где наблюдаемый разброс связывается с выделением пассивным затвором с $\tau_{\text{ред}} > \Delta t$ малых по длительности реализаций шумовой картины излучения. При этом величина разброса должна быть тем больше, чем меньше длительность выделяемых групп УКИ.

Показанная возможность воздействия на краситель, приведшая к уменьшению его времени релаксации, позволяет существенно продвинуться по пути решения проблемы увеличения мощности существующих твердотельных ОКГ, которое в настоящее время значительно тормозится из-за отсутствия быстрорелаксирующих красителей.

Литература

- [1] В.С.Летохов. ЖЭТФ, 55, 1943, 1968.
 - [2] Т.И.Кузнецова. ЖЭТФ, 57, 1673, 1969.
 - [3] В.И.Малышев, А.А.Сычев, В.А.Бабенко. Письма в ЖЭТФ, 13, 588, 1971.
 - [4] J.W.Shelton, J.A.Armstrong IEEE J. Quant. Electronics, QE-3, 696, 1967.
 - [5] А.Н.Теренин. Фотоника красителей. Л., Изд. Наука, 1967.
 - [6] D.J.Bradley, G.H.C.New, S.J.Caughey. Optics Communs, 2, 41, 1970.
 - [7] В.А.Бабенко, Б.Я.Зельдович, В.И.Малышев, А.А.Сычев. ЖЭТФ, 61, вып. 12, 1971.
-