

КОГЕРЕНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ГЕНЕРАЦИИ И УСИЛЕНИИ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В Nd : YAG И РУБИНЕ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

*О.П.Варнавский, А.Н.Киркин, А.М.Леонтович,
Р.Г.Мирзоян, А.М.Можаровский, И.Р.Сатаев*

Впервые изучены когерентные эффекты при генерации и усилении в Nd : YAG и рубине при $\sim 100\text{K}$. Наблюдались осцилляции интенсивности на заднем фронте импульса и дублетная структура спектра. По затуханию осцилляций сделана оценка времени поперечной релаксации T_2 в рубине.

Когерентное взаимодействие световых импульсов с резонансными средами исследовалось главным образом для поглощающих сред, где наблюдались разнообразные когерентные эффекты. Экспериментальному исследованию когерентного взаимодействия с усиливающими средами посвящено лишь несколько работ ¹⁻³. Исследования проводились в газах в наносекундном диапазоне длительностей. Полученные результаты в основных чертах согласуются с результатами гораздо более многочисленных теоретических работ, посвященных этому вопросу. Однако, многие проблемы, в том числе принципиальные, остаются нерешенными из-за недостатка экспериментальных данных ⁴. В частности, мало исследован процесс формирования ультракоротких импульсов (УКИ) в лазерах с самосинхронизацией мод, когда длительность УКИ τ_p становится сравнимой с временем фазовой релаксации активной среды T_2 ^{5,6}. Несомненный интерес представляет также наблюдение когерентного усиления в конденсированных средах. В настоящей работе приведены экспериментальные результаты по генерации и усилению УКИ в Nd : YAG и рубине при низкой температуре, когда $\tau_p \lesssim T_2$. Предварительные данные по усилению в Nd : YAG опубликованы в ⁷.

Усиление в Nd : YAG исследовалось на переходе между компонентами $R_1 - Y_1$ мультиплетов ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$. Использовались стержни размером 5×60 и 8×80 мм, накачиваемые импульсными лампами. Охлаждение стержней до $\sim 100\text{K}$ производилось парами азота ⁸. Оценки времен T_2^* (обратная неоднородная ширина) и T_2 из спектроскопических данных ⁹ дают при наших условиях значения 20 псек и 150 псек соответственно. Источником входных импульсов служил Nd : YAG лазер с самосинхронизацией мод, описанный в ⁸. Длительность импульса составляла ~ 80 псек, энергия ~ 1 мДж, диаметр пучка 2 мм. Регистрация формы импульса на входе и выходе усилителя производилась с помощью электронно-оптической камеры с временным разрешением ~ 20 псек.

Исследована зависимость формы импульса на выходе усилителя от величины площади входного импульса $\theta = \frac{d}{\hbar} \int_{-\infty}^{\infty} E(t) dt$ ($E(t)$ – амплитуда поля, d – матричный элемент дипольного момента перехода). При входной площади $\sim 0,5\pi$ и усилении для слабого сигнала $\alpha L \sim 5$ на выходе усилителя наблюдалось характерное разбиение импульса ^{1,10}. Денситограмма излучения приведена на рис. 1. При двойном проходе через усилитель в ряде случаев на заднем фронте наблюдался третий выброс малой амплитуды. При уменьшении площади входного импульса разбиение становилось менее заметным и при $\theta < 0,2\pi$ формы импульсов на входе и выходе совпадали. Эффект разбиения импульсов исчезал также при повышении температуры стержня при любом достижимом θ .

Спектр усиленного импульса приведен на рис. 2. Видна характерная дублетная структура, которую можно представить как результат динамического штарковского расщепления в поле усиливаемого сигнала. Эти результаты хорошо согласуются с результатами численного расчета, проведенного для условий, соответствующих нашему эксперименту ¹⁰.

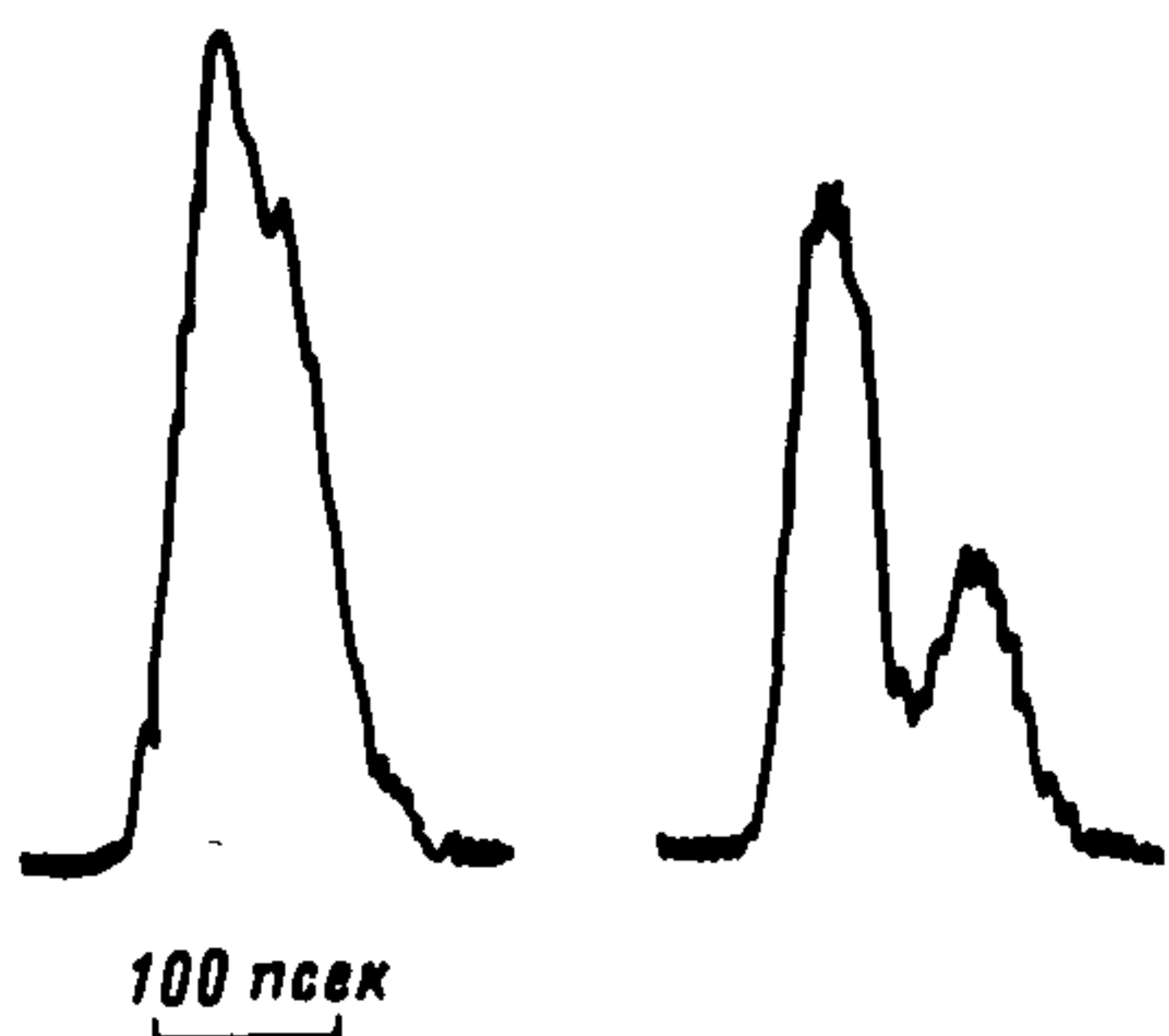


Рис. 1. Денситограммы треков на входе (слева) и на выходе (справа) Nd ; YAG усилителя при $\theta \sim 0,5 \pi$

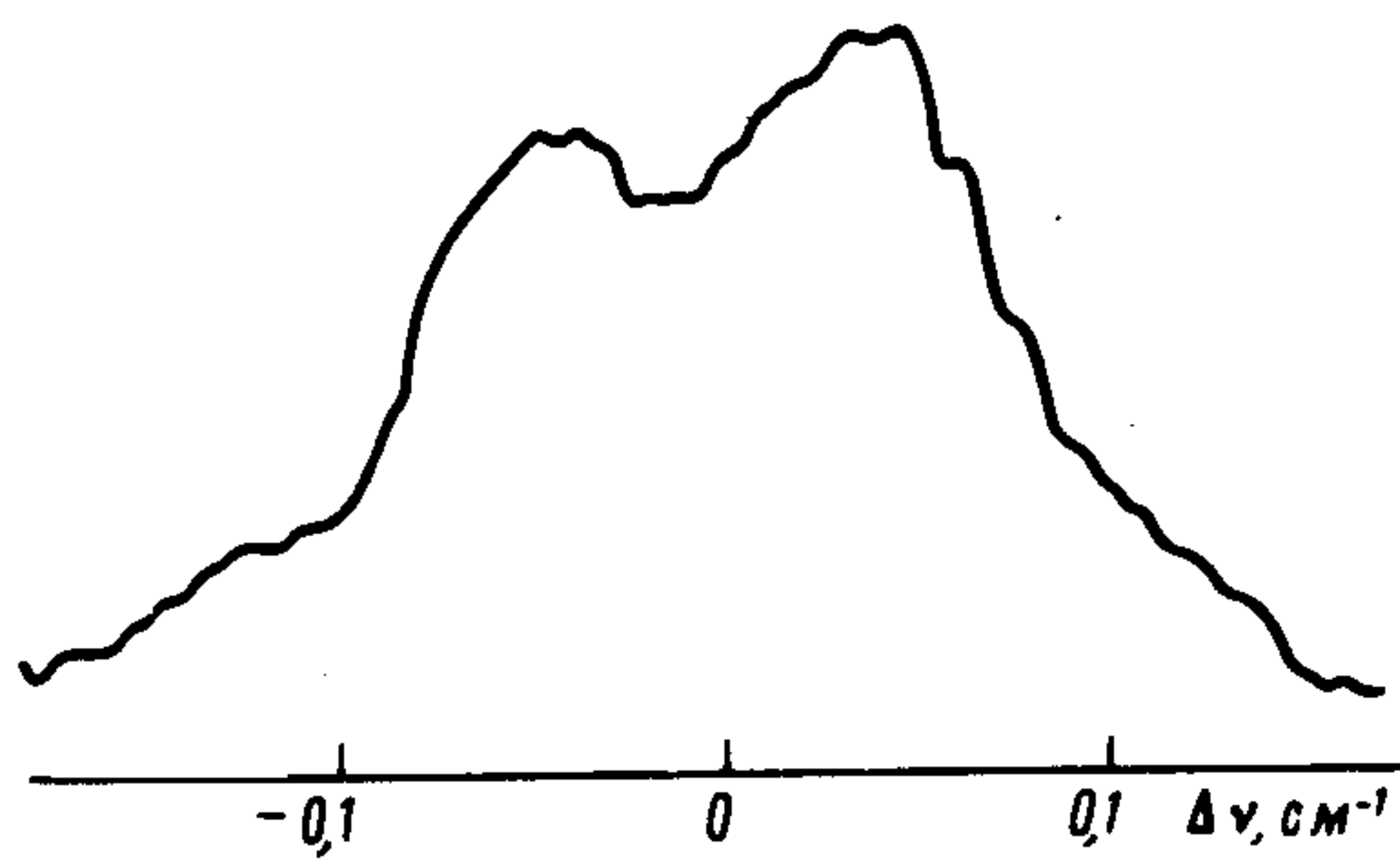


Рис. 2. Спектр импульса, усиленного в Nd : YAG

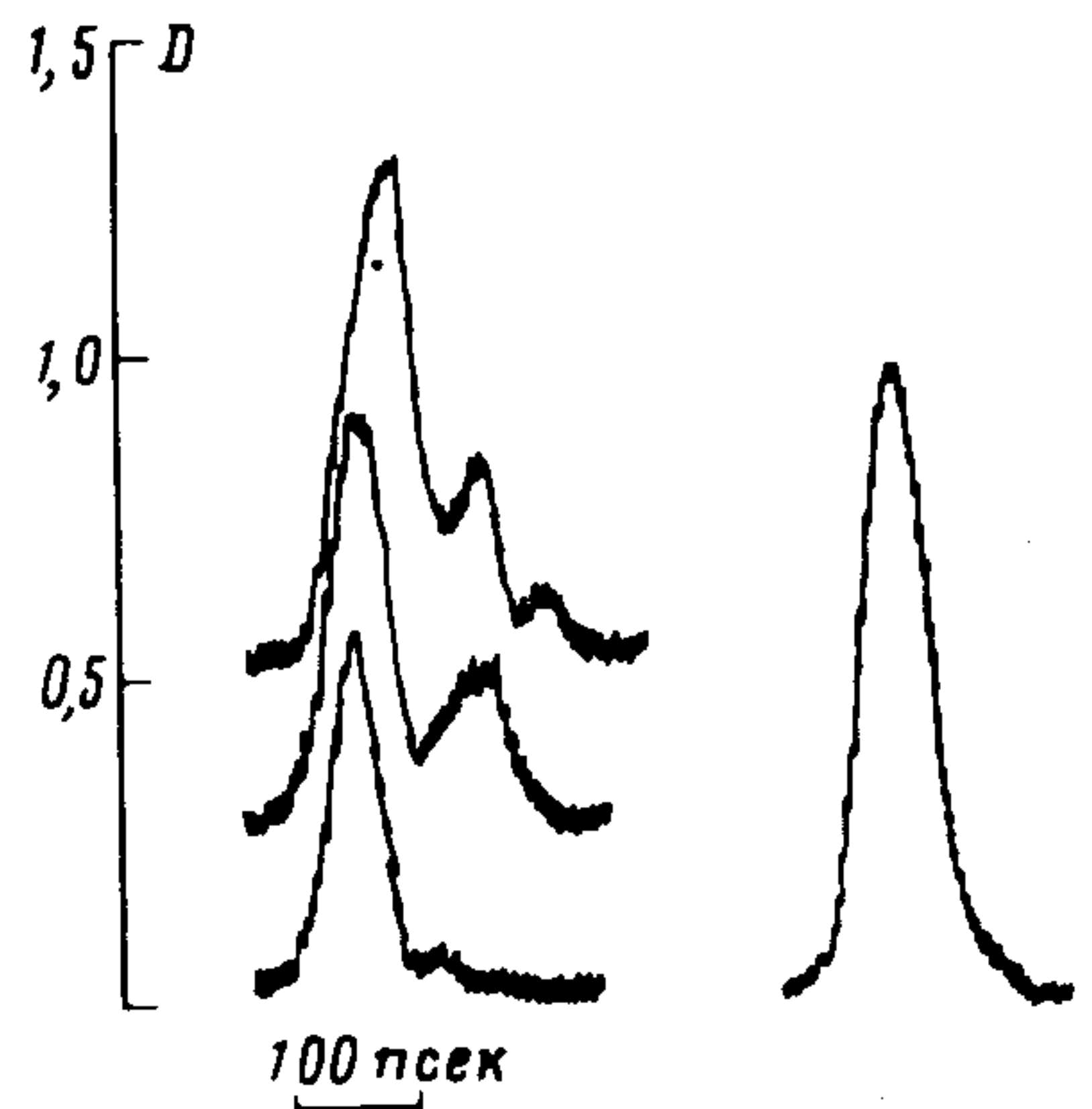


Рис. 3. Денситограммы импульса рубинового лазера с самосинхронизацией мод. Слева – температура среды $\sim 100\text{K}$. Кривые соответствуют трем последовательным ступеням ослабителя, установленного на входной щели камеры. Справа – температура среды $\sim 190\text{K}$. D – почернение

Отметим, что при одинаковой форме и интенсивности входного импульса эффект разбиения наблюдался не всегда. В частности, он не возникал, если входной импульс предварительно усиливался в Nd стекле до больших интенсивностей. Можно предположить, что это связано с наличием фазовой модуляции входного импульса, которая, как показали предварительные измерения, меняется от вспышки к вспышке. С другой стороны, этот результат, наряду с температурной зависимостью, подтверждает, что разбиение импульса не связано с самофокусировкой.

Очевидно, что когерентные эффекты должны проявляться уже в резонаторе генератора УКИ на поздних стадиях генерации, если активная среда имеет достаточно большое T_2 . Действительно, разбиение импульса иногда возникало уже в выходном излучении лазера на Nd : YAG при низкой температуре в максимуме цуга УКИ. Однако, более отчетливо этот эффект проявлялся в генераторе на рубине при $\sim 100\text{K}$. Когерентный характер взаимодействия УКИ с рубином при низкой температуре был установлен в работах ^{11, 12}, где мы наблюдали эффекты самоиндуцированной прозрачности и когерентного усиления.

В данной работе нами исследованы УКИ, генерируемые в лазере на рубине при $\sim 100\text{K}$ с самосинхронизацией мод. Использовался неустойчивый резонатор со стеклянной подложкой в качестве выходного зеркала. Лазер генерировал цуг, состоящий из двух-трех УКИ с общей энергией 150 – 200 мДж и энергией максимального импульса до 50 – 100 мДж. Характерная длительность импульса составляла 40 – 50 псек, диаметр пучка в активном стержне 4 – 6 мм. Максимальный импульс в таком резонаторе можно было рассматривать как результат усиления на одном проходе резонатора. Денситограмма излучения максимального импульса в цуге приведена на рис. 3. Отчетливо видны осцилляции на заднем фронте импульса. Для сравнения приведена также денситограмма, полученная при температуре активной среды $\sim 190\text{K}$. Осцилляции в этом случае полностью отсутствуют.

По появлению осцилляций при понижении температуры или уменьшении длительности импульса можно оценить важный спектроскопический параметр среды T_2 . Так, например, для рубина при 100К $T_2 \sim 150$ псек, а при 190К $T_2 \lesssim 60$ псек.

Насколько нам известно, когерентные эффекты при генерации и усилении пикосекундных импульсов в конденсированных средах ранее не наблюдались.

Авторы благодарны А.В.Ларикову за помощь в работе.

Литература

1. *Одинцов А.И., Якунин В.П.* Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, 233.
2. *Баранов В.Ю., Берзенко В.Л., Малюта Д.Д., Петрушевич Ю.В., Сатов Ю.А., Себрант А.Ю., Смаковский Ю.Б., Старостин А.Н.* Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 593.
3. *Chung H.K., Lee J.V., DeTemle.* Opt. Comm., 1981, 39, 105.
4. *Аллен Л., Эберли Дж.* Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М., Мир, 1978.
5. *Маркано А.О., Платоненко В.Т.* Квантовая электроника, 1981, 8, 2350.
6. *Frova A., Duguay M.A., Garrett C.G.V., McCall S.L.* J. Appl. Phys., 1969, 40, 3969.
7. *Варнавский О.П., Лариков А.В., Леонтович А.М.* Препринт ФИАН СССР, №112, 1981.
8. *Варнавский О.П., Лариков А.В., Леонтович А.М.* Квантовая электроника, 1979, 6, 2452.
9. *Kushida T.* Phys. Rev., 1969, 185, 500.
10. *Маликов Р.Ф.* Тез. докл. VII Всесоюзного симпозиума по спектроскопии кристаллов, активированных ионами редкоземельных и переходных металлов, 19 – 22 окт. 1982 г. Ленинград, 1982, стр. 96.
11. *Леонтович А.М., Можаровский А.М.* Письма в ЖЭТФ, 1974, 19, 347.
12. *Леонтович А.М., Можаровский А.М.* Письма в ЖЭТФ, 1974, 20, 664.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 января 1983 г.