

УДК 537.86:530.145, 621.373.5.038.825.2

## ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ВЕРХНЕГО ЛАЗЕРНОГО УРОВНЯ АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ПАССИВНЫМ ЗАТВОРОМ В РЕЗОНАТОРЕ

М. И. Беловолов, А. Ф. Шаталов

*Описан метод измерения радиационного времени жизни верхнего лазерного уровня активного элемента в резонаторе твердотельного лазера с диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности.*

При оптимизации импульсных твердотельных лазеров (ТТЛ) с диодной накачкой и пассивным затвором в резонаторе важным параметром является радиационное время  $\tau$  жизни верхнего лазерного уровня активного элемента (АЭ) ТТЛ [1]. Это время, измеренное по стандартной методике [2] для АЭ вне резонатора, может отличаться от времени  $\tau$  для АЭ в резонаторе из-за усиления последним спонтанного излучения.

В данной работе описан метод измерения радиационного времени  $\tau$  жизни верхнего лазерного уровня АЭ, находящегося в резонаторе ТТЛ с диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности.

В этом методе действующее значение тока диода накачки ТТЛ комбинируется из постоянной  $I_0$  и импульсной  $I_i$  составляющих. На рис. 1 показаны зависимости мощности  $P_n$  (а) оптической накачки и плотности  $n$  (б) инверсной населенности в АЭ от времени при импульсной генерации ТТЛ, соответствующей этой накачке. Постоянная  $P_0$  и импульсная  $P_i$  составляющие оптической мощности накачки соответствуют действующим токам  $I_0$  и  $I_i$  диода, а оптическая мощность  $P_p = P_0 + P_i$  соответствует току  $I_p = I_0 + I_i$ ;  $T$  – период следования импульсов накачки,  $\tau_i$  – их длительность,  $F = \frac{1}{T}$  – частота следования,  $T_0$  – время задержки начала генерации лазера относительно переднего фронта импульса накачки,  $n_i$  и  $n_f$  – плотности инверсной населенности АЭ в начале и в конце генерации ТТЛ, а  $n_{0f}$  – плотность инверсной населенности АЭ, обусловленная мощностью  $P_0$  накачки.

Используя уравнения динамики для плотности  $n$  инверсной населенности в АЭ [1], время  $T_0$  задержки начала генерации ТТЛ с пассивным затвором в резонаторе можно

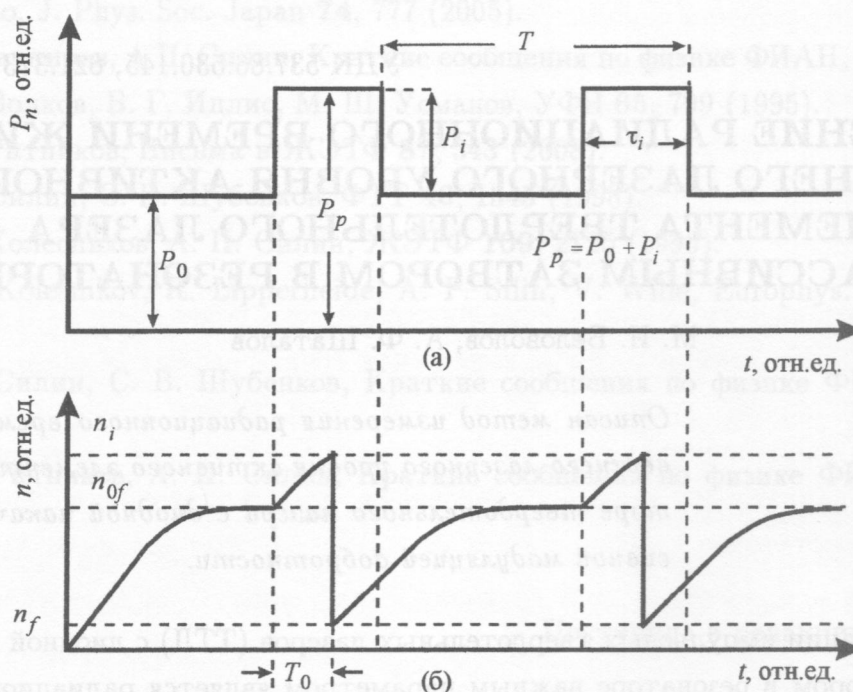


Рис. 1. Зависимости мощности  $P_n$  (а) оптической накачки и плотности  $n$  (б) инверсной населенности в АЭ от времени.

выразить через параметры накачки лазера

$$T_0 = \tau \ln \frac{x_p - x_0}{x_p - 1}, \quad (1)$$

где  $x_p = \frac{P_p}{P_t} = \frac{I_p}{I_t}$ ,  $x_0 = \frac{P_0}{P_t} = \frac{I_0}{I_t}$ ,  $P_t$  – пороговая оптическая мощность, а  $I_t$  – соответствующий ей пороговый ток накачки лазера. Из (1) следует, что радиационное время  $\tau$  АЭ в резонаторе лазера можно измерять по задержке  $T_0$ , которая зависит от параметров  $x_p$  и  $x_0$  диодной накачки ТТЛ.

Схема экспериментальной установки для измерения радиационного времени жизни верхнего лазерного уровня АЭ ТТЛ с пассивным затвором в резонаторе показана на рис. 2. Источник тока 1 модулировал выходную мощность излучения (длина волны  $\lambda_p = 805$  нм) лазерного диода 2 накачки, имеющего выход излучения через оптическое волокно 3. Ширина спектра излучения накачки на полувывоте составляла 2 нм. Микрообъектив 4 фокусировал излучение из выходного торца волокна 3 на АЭ 5 в пятно диаметром 90 мкм. Активным элементом служил активированный неодимом кристалл кальций-галлий-германиевого граната  $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$ , который укреплялся

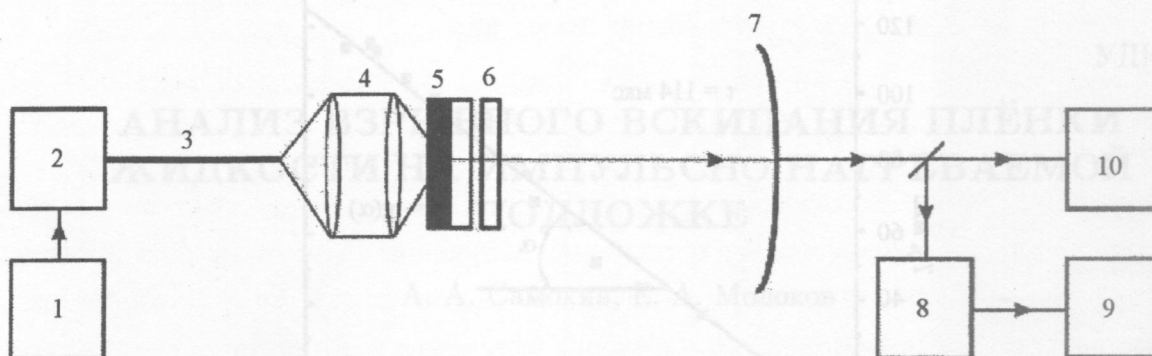


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для измерения радиационного времени жизни верхнего лазерного уровня АЭ ТТЛ с пассивным затвором в резонаторе. 1 – источник тока; 2 – лазерный диод; 3 – оптическое волокно; 4 – микрообъектив; 5 – АЭ; 6 – пассивный затвор; 7 – выходное сферическое зеркало; 8 – фотоприемник; 9 – осциллограф; 10 – измеритель мощности.

на медном теплоотводе с помощью термопасты. Передняя грань (на рис. 2 зачернена) – входное зеркало АЭ вместе со сферическим зеркалом 7, имеющим коэффициент пропускания  $T = 0.01$  и радиус  $R = 5$  см, образуют резонатор лазера. В резонатор лазера помещался пассивный затвор 6, выполненный на кристалле  $\text{YAG:Cr}^{4+}$ , просветленный на длине волны  $1.06$  мкм и имеющий коэффициент пропускания  $T = 0.9$  при малых интенсивностях падающего на него излучения. Толщина затвора 6 равнялась  $1$  мм. Концентрация ионов неодима в АЭ составляла  $2.0 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Толщина АЭ равнялась  $1.5$  мм. За один проход в этом АЭ поглощалось  $80\%$  излучения накачки. Форма и временные параметры лазерных импульсов генерации измерялись с помощью малошумящего широкополосного фотоприёмника 8 и осциллографа 9. В качестве измерителя мощности 10 использовался Coherent FieldMaster FM с измерительной головкой LM10.

Пороговый ток  $I_t$  накачки ТТЛ был равен  $0.77$  А, а соответствующая ему пороговая оптическая мощность  $P_t$  накачки составляла  $0.74$  Вт. Энергия и длительность импульсов генерации ТТЛ составляли  $3.5$  мкДж и  $11$  нс, соответственно.

На рис. 3 показана зависимость времени  $T_0$  задержки импульса генерации лазера относительно переднего фронта импульса накачки от  $\ln\left(\frac{x_p - x_0}{x_p - 1}\right)$ . Тангенс угла наклона прямой, аппроксимирующей экспериментальные точки, равен радиационному времени  $\tau$  жизни верхнего лазерного уровня АЭ в резонаторе ТТЛ. Полученное из данных рис. 3 значение  $\tau$  составляет  $114$  мкс, что меньше времени  $\tau = 230$  мкс [2], измеренного

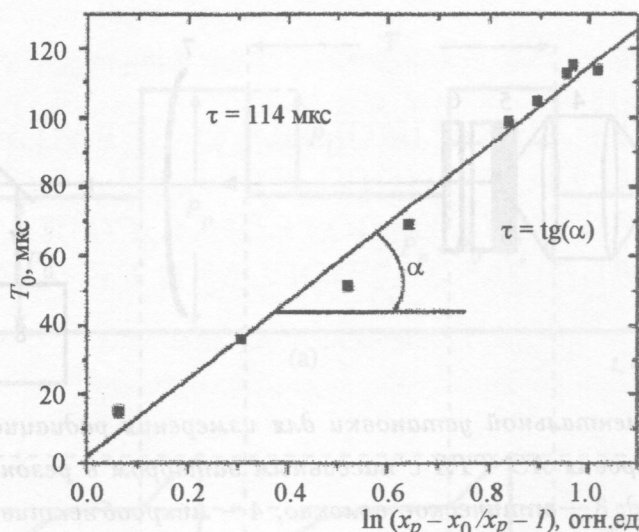


Рис. 3. Зависимость времени  $T_0$  задержки импульса генерации лазера относительно переднего фронта импульса накачки от  $\ln\left(\frac{x_p - x_0}{x_p - 1}\right)$ .

по стандартной методике для АЭ, находящегося вне резонатора. Уменьшение радиационного времени  $\tau$  для АЭ в резонаторе связано с усилением последним спонтанного излучения, в результате чего радиационное время жизни верхнего лазерного уровня АЭ уменьшается.

Таким образом, радиационное время жизни верхнего лазерного уровня АЭ может существенно уменьшаться, если АЭ находится в резонаторе ТТЛ, что необходимо учитывать при оптимизации параметров последнего. Измерять радиационное время АЭ в резонаторе ТТЛ с диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности можно по времени задержки импульса генерации ТТЛ относительно переднего фронта импульса накачки лазера.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. J. Degnan, IEEE Journal of Quantum Electronics **11**, 1890 (1995).
- [2] М. И. Беловолов, С. И. Державин, Д. А. Машковский и др., Квантовая электроника **8**, 753 (2007).

Научный центр волоконной оптики  
Российской академии наук (НЦВО РАН)

Поступила в редакцию 8 июля 2008 г.