

ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КВАРЦЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ Er^{3+} В СЕРДЦЕВИНЕ

Базакуца А.П.*, Бутов О.В.

Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН

*E-mail: abazakutsa@gmail.com

DOI 10.24411/2308-6920-2019-16106

Введение

Эрбиевые одночастотные волоконные лазеры с распределённой обратной связью (РОС) находят всё больше применений в современной сенсорике и телекоммуникациях [1, 2]. Резонатор такого лазера представляет собой короткий участок кварцевого оптического волокна с высоким содержанием эрбия в сердцевине, в котором записана волоконная брэгговская решётка показателя преломления, как правило, с фазовым сдвигом в структуре. Самым распространённым и удобным способом записи такой решётки является УФ облучение волокна эксимерным лазером через фазовую маску, для чего необходимо, чтобы волокно обладало фоточувствительностью. Основным методом повышения фоточувствительности оптического волокна является насыщение его молекулярным водородом. Присутствие водорода в сетке стекла может приводить не только к изменению показателя преломления, но и к росту поглощения, а также ухудшению люминесцентных свойств активных стекол [3].

Темой нашей работы является исследование влияния насыщения водородом на кинетику люминесценции активных волокон, легированных эрбием в различной концентрации.

Эксперимент

В наших экспериментах мы использовали волокна, легированные эрбием в высокой I и малой II концентрации. Все активные волокна были вытянуты из преформ, изготовленных по технологии SPCVD [4]. Параметры образцов указаны в таблице 1:

Таблица 1. Параметры образцов

Образец	Состав сердцевины	Поглощение на 1550 нм, дБ/м	Исходное время жизни люминесценции, мс
I	Si – Er – Al	180	5.41
II	Si – Er	70	11.78

При подготовке к эксперименту, образцы волокон обоих типов были помещены в камеру высокого давления, наполненную водородом до давления 100 атм. Участок камеры с волокнами был нагрет до температуры 100 °С, что позволило достичь равновесной концентрации водорода $1.04 \cdot 10^{20}$ см⁻³ в волокне за одни сутки. После насыщения водородом образцы длиной 25 мм помещались под излучение импульсного эксимерного лазера с длиной волны излучения 193 нм с длительностью импульса 20 нс. Полная экспонированная доза для каждого облучённого образца составила 750 J/cm².

Люминесценция образцов возбуждалась при помощи лазерного диода на длину волны 980 нм, позволявшего ввести в сердцевину активного волокна излучение мощностью 10 мВт. Для измерения спектров люминесценции был использован оптический спектроанализатор. Для измерения кинетики люминесценции образец активного волокна размещался напротив InGaAs фотодиода с кремниевым оптическим фильтром. Сигнал фотодиода регистрировался высокоскоростным цифровым осциллографом.

Результаты и обсуждение

Как мы выяснили, насыщение водородом и УФ облучение приводит лишь к изменению интенсивности люминесценции образцов обоих типов, причём интенсивность люминесценции высоколегированных образцов типа I падает заметно меньше интенсивности люминесценции слаболегированных образцов типа II. Наиболее информативно изменение кривых кинетики люминесценции, которое показано на рис. 1:

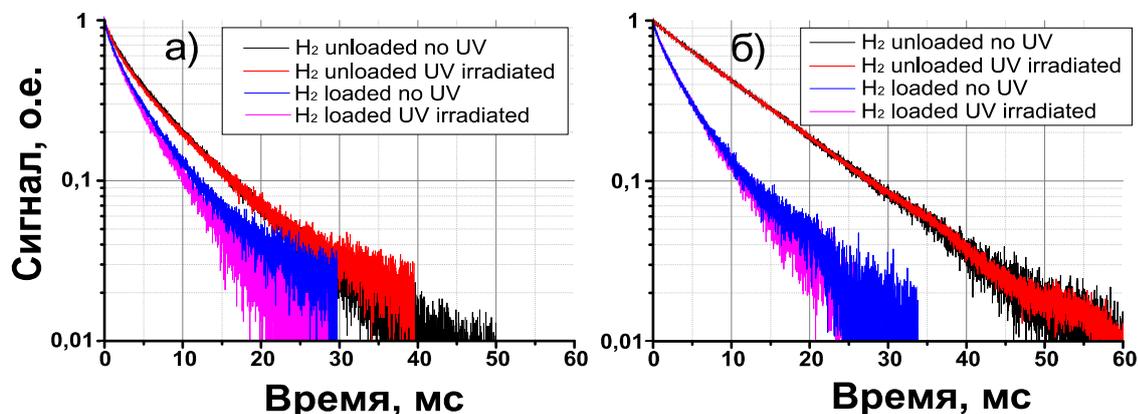


Рис. 1 Кинетика люминесценции образцов типа I а) и II б)

Видно, что изменение кривых кинетики в результате насыщения водородом и УФ облучения принципиально отличается для образцов типа I и II. В образцах типа II насыщение H_2 приводит к изменению формы кривой кинетики из экспоненциальной в так называемую «растянутую экспоненту» [5]:

$$I(t) = I_0 * \exp\left(\left(\frac{-t}{\tau}\right)^\beta\right) + const, \quad (1)$$

τ имеет размерность времени, $\beta < 1$ — безразмерный параметр, характеризующий отклонение формы кривой кинетики от экспоненциального вида. Что до образцов типа I, кривая кинетики изначально имеет форму, описываемую формулой (1), и насыщение водородом приводит только к уменьшению τ , но практически не влияет на β :

Таблица 2. Параметры кинетики люминесценции образцов типа I и II

	Sample	H_2 unloaded		H_2 loaded	
		τ , ms	β	τ , ms	β
UV unirradiated	I	5.41	0.76	3.55	0.74
	II	11.78	0.97	3.93	0.76
UV irradiated	I	4.82	0.71	3.30	0.74
	II	11.73	0.96	3.97	0.76

Данная форма кривой кинетики свидетельствует о том, что релаксация возбуждения активных центров сопровождается процессом переноса энергии. Так, для сильнолегированных образцов типа I, имеет место передача возбуждения между соседними ионами Er^{3+} , в то время как для образцов типа II возможна только передача возбуждения от ионов эрбия к молекулам H_2 . При этом видно, что насыщение H_2 приводит к четырехкратному уменьшению времени жизни образцов типа II и практически не влияет на образцы типа I. В то же время, УФ облучение практически не влияет на кинетику люминесценции образцов типа II, но приводит к заметному уменьшению τ для I.

Наблюдаемые эффекты могут быть связаны как с различным уровнем кластеризации эрбия в образцах типа I и II, так и с различным окружением активных центров. В соответствии с [6], солегирование сердцевины образцов типа I алюминием может приводить к образованию т.н. «сольватирующей оболочки» вокруг активных центров, приводя к уменьшению вероятности деактивации возбуждения в результате столкновения с молекулой H_2 .

Мы благодарим группы Голанта К.М. и Чаморовского Ю.К. из фрязинского филиала ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН за предоставленные образцы активных волокон.

Работа поддержана РФФИ (17-07-01388 А).

Литература

1. E. Desurvire, "Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications" (Wiley, 1994)
2. V. Mizrahi et al, J. Lightwave Technol., LT-11 (12), 20021-2025 (1993)
3. A.P. Bazakutsa and K.M. Golant, J Non-Cryst. Solids, 411, 68–75 (2015)
4. K.M. Golant, in Defects in SiO_2 and Related Dielectrics: Science and Technology, 427 – 452 (2000)
5. J. Phillips, Rep. Prog. Phys., 59, 1133–1207 (1996)
6. F. Funabiki et al, J. Ceramic Soc. Japan 120(11), 447 – 457 (2012)