

Тепловые эффекты при фемтосекундной записи оптических волноводов

М.А. Бухарин^{1,2}, Н.Н. Скрябин^{1,2}, Д.В. Худяков^{2,3}

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²ООО «Оптосистемы»

³Центр физического приборостроения ИОФ РАН

В настоящее время фемтосекундная запись является перспективной безмасочной технологией создания трехмерных волноводов внутри объемных оптических стекол и кристаллов, а также широкого класса оптических интегральных устройств на их основе, включая лазерные усилители и нелинейные преобразователи, электро-оптические модуляторы, брэгговские решетки и интегральные схемы для разделения излучения [1, 2].

Одной из важнейших задач в технологии фемтосекундной записи является повышение величины перманентно индуцируемого показателя преломления. Для этого используется тепловой кумулятивный режим записи [3, 4]. При нем скорость протекания фотохимических процессов под действием сфокусированного ($NA=0.6$) фемтосекундного излучения ($\tau=360$ фс, $\lambda=1040$ нм) увеличивается за счет локального повышения температуры материала в области фокусировки последовательностью лазерных импульсов с высокой частотой повторения (1-10 МГц). Оценка распределения температуры необходима для анализа структуры получаемых треков и разделения вкладов набора конкурирующих фотохимических процессов, приводящих к изменению показателя преломления материала.

В настоящей работе проведено численное моделирование зависимости температуры в фокальном пятне от времени экспозиции на различных частотах следования импульсов (на рис. 1 показан переход от нетеплового режима записи к тепловому кумулятивному), а также получена диаграмма распределения температуры в зависимости от условий экспериментов. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными значениями.

Новизна работы заключается в динамическом учете зависимости параметров среды от моментальной локальной температуры при моделировании и учете изменения распределения интенсивности в фокальном пятне от энергии и частоты следования импульсов за счет плазменной дефокусировки. Полученные результаты позволили предложить описание фотохимических и тепловых процессов, приводящих к изменению показателя преломления, альтернативное [4] и более точно согласующееся с экспериментами.

Работа была поддержана Фондом содействия инновациям (9398ГУ2/2015 №0020265 и 8611ГУ/2015 №0018824).

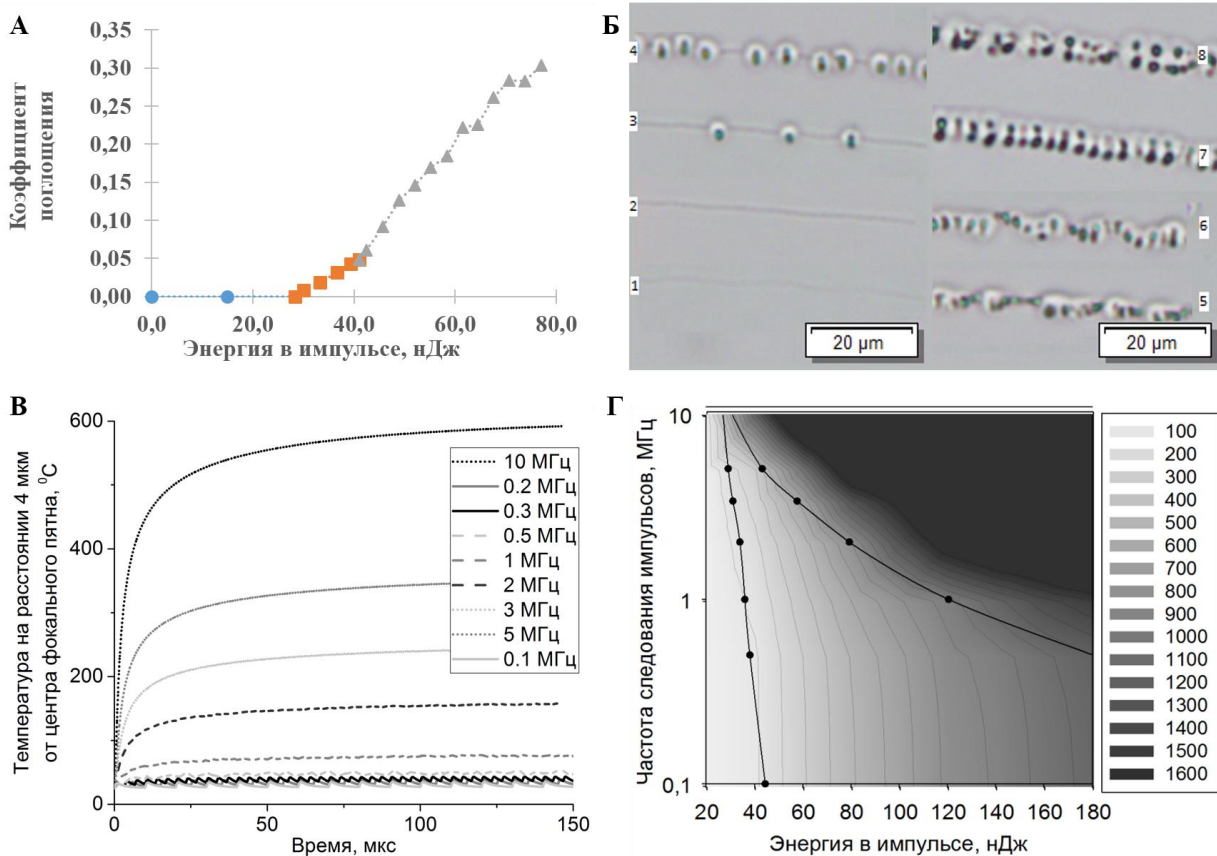


Рис. 1. Излом зависимости коэффициента поглощения от энергии импульсов (а) и микроскопия созданных треков (б) при фемтосекундной записи волноводов (■, треки 1, 2) и оптическом пробое вещества в тепловом кумулятивном режиме (▲, треки 3-8). Численное моделирование зависимости температуры в фокальном пятне от времени экспозиции на различных частотах следования импульсов (в) и диаграмма распределения температуры в центре фокального пятна (г) с указанием экспериментальных границ рабочего диапазона эффекта.

Литература

1. Femtosecond Laser Micromachining / ed. by R. Osellame, R. Ramponi, G. Cerullo. – London: Springer-Verlag, 2012 – 481 с.
2. Xiao-Song Ma On-chip teleportation – Nature Photonics, 2014, v. 8, p. 749-751
3. M.A. Bukharin et.al. Heat accumulation regime of femtosecond laser writing in fused silica and Nd:phosphate glass. – Appl. Phys. A, 2015, v. 119(1), p. 397–403.
4. Shane M. Eaton et.al. Heat accumulation effects in femtosecond laser written waveguides with variable repetition rate. – Opt. Exp., 2005, v. 13(12), p. 4708–4716.