

**Поточечная фемтосекундная запись оптических интегральных схем с
облегченной интеграцией в волоконные лазерные системы**

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

Под действием сфокусированного фемтосекундного лазерного излучения внутри оптически прозрачных диэлектрических сред (стекло и кристаллов) может наблюдаться эффект перманентного изменения показателя преломления [1]. С помощью данного эффекта можно поточечно создавать оболочку световодов и оптические интегральные схемы с произвольной топологией в стеклах и кристаллах [2].

Одной из важнейших задач при создании оптических интегральных приборов является оптимизация соединений между объемными и волоконными элементами оптической системы [3]. С точки зрения стыковки со стандартными оптическими волокнами (диаметр 125 мкм) оптимальная глубина залегания оси волноводов в схеме составляет 62.5 мкм. В этом случае интегральную схему и оптическое волокно можно расположить на общей подложке таким образом, что юстировку останется произвести лишь по 1 углу и 1 координате, вместо 2 углов и 2 координат. Так как у стандартной фокусирующей оптики либо отсутствует коррекция сферических aberrаций, либо она присутствует лишь для больших глубин внутри образца (сотни мкм), то фемтосекундная запись волноводов на глубине 62.5 мкм осложняется существенным влиянием некомпенсированных сферических aberrаций (СА), и для создания световодов необходимо применять дополнительные методики их учета и уменьшения влияния на создаваемые структуры.

В настоящей работе предлагается решение этой задачи. Негативное влияние СА предлагается уменьшить благодаря переходу от записи сердцевины световода к записи его оболочки с пониженным показателем преломления. Асимметрию создаваемых структур предлагается уменьшить благодаря переходу к тепловому режиму воздействия на материал, а различия во влиянии СА на различных глубинах при записи оболочки (максимальный разброс глубин на краях многомодового волновода 50 мкм) компенсировать благодаря динамическому изменению параметром лазерных импульсов. Представленный подход был

экспериментально реализован в кварцевом стекле на глубине 62.5 мкм при использовании объектива без компенсации СА (100x, NA=0.8) и фемтосекундного излучения длительностью 360 фс на длине волны 1040 нм. В результате исследования была получена диаграмма рабочего диапазона эффекта в присутствии некомпенсированных СА в зависимости от энергии импульса и частоты следования импульсов как в нетепловом, так и тепловом режимах воздействия на материал. Также была рассчитана и экспериментально произведена динамическая коррекция энергии в импульсе для записи оболочки световода на существенно различающихся глубинах (± 50 мкм), что позволило создать оптический световод с низкими потерями (до 0.3 дБ/см) и малой анизотропией потерь (<0.1 дБ/см).

Полученные результаты могут быть применены при фемтосекундной записи широкого класса оптических интегральных систем, в частности, для квантовых вычислений [2] и биологических применений (lab-on-chip устройства) [1, 3].

Работа была поддержана Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Программа У.М.Н.И.К., №4806ГУ1/2014, код 0008340).

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.

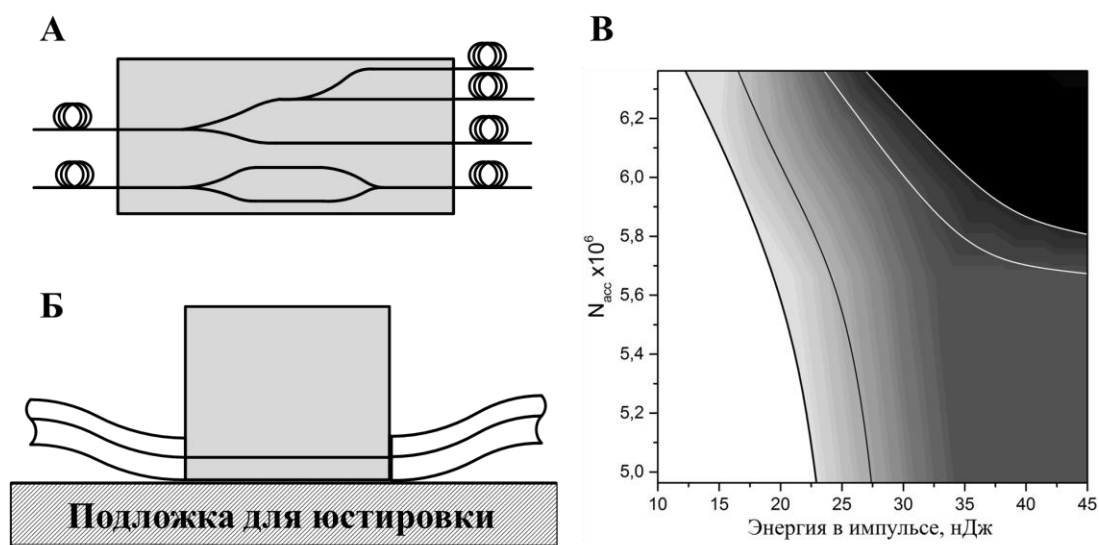


Рис. 1. Схема стыковки оптического волокна с интегральной оптической схемой, записанной на оптимальной глубине: (а) вид сверху, (б) вид сбоку; (в) диаграмма рабочего диапазона эффекта на глубине 62.5 мкм, цветом отмечен характер эффекта от его отсутствия до пробоя.