

Запись решеток показателя преломления в германосиликатных световодах излучением ближнего УФ диапазона

Е.М.Дианов, С.А.Васильев, Д.С.Стародубов, А.А.Фролов, О.И.Медведков

Впервые осуществлена запись решетки показателя преломления в германосиликатном световоде непрерывным излучением Ar^+ -лазера ближнего УФ диапазона (333 – 364 нм). Индуцированный показатель преломления в световоде с молекулярным содержанием GeO_2 10% в сердцевине составил $1.9 \cdot 10^{-4}$ при плотности мощности излучения $1.7 \cdot 10^5$ Вт/см². Показано, что полученные решетки обладают примерно такой же термостабильностью, что и решетки, записанные с помощью KrF -лазера (248 нм).

Введение

Фоточувствительность германосиликатных оптических световодов вызывает в последние годы значительный интерес, т. к. она позволяет создавать решетки показателя преломления (ПП) в сердцевине световода, находящие широкое применение в различных волоконно-оптических устройствах [1]. Как правило, такие решетки записываются мощным УФ излучением, длина волны которого возбуждает полосу синглет-синглетного ($S_0 - S_1$) поглощения германиевых кислородно-дефицитных центров (ГКДЦ) с максимумом на 242 нм [2]. Механизм наведения ПП активно изучается, однако до сих пор полного понимания этого явления нет. Тем не менее бесспорно, что фотовозбуждение ГКДЦ является начальной стадией этого процесса.

Как известно, помимо разрешенного правилами отбора синглет-синглетного перехода, ГКДЦ имеет полосу поглощения с максимумом 330 нм [3], приписываемую запрещенному синглет-триплетному переходу ($S_0 - T_1$). Поскольку, как правило, поглощение в этой полосе на три порядка меньше синглет-синглетного поглощения, то это затрудняет ее практическое использование для записи фотоиндуцированных структур. Тем не менее изучение процессов, происходящих при прямом возбуждении триплетного состояния ГКДЦ, представляется актуальным, т. к. это дает новую информацию об ответственных за наведение ПП механизмах, а также позволяет выявить возможность использования других длин волн и, следовательно, других источников излучения для практических применений.

В предыдущих экспериментах [4] мы продемонстрировали эффективное фотообесцвечивание триплет-синглетной люминесценции при прямом фотовозбуждении триплетного состояния ГКДЦ излучением ближнего УФ диапазона. Так, 35%-ное обесцвечивание люминесценции наблюдалось в стекле с молекулярной концентрацией GeO_2 8% при его облучении непрерывным излуче-

нием Ar^+ -лазера интенсивностью $3.5 \cdot 10^3$ Вт/см². Было также показано, что аналогичное возбуждение приводит к наведению в сердцевине германосиликатного световода дополнительного ПП, о чем свидетельствуют частичное фотостирание длиннопериодной решетки [5]. В этих экспериментах изменение ПП достигало $3 \cdot 10^{-5}$, что позволило предположить возможность использования излучения ближнего УФ диапазона для изготовления внутриволоконных решеток ПП.

Удобным объектом для проверки указанного предположения являются решетки ПП с большим периодом ($\Lambda = 100$ мкм ÷ 1 см), связывающие две распространяющиеся в одном направлении моды световода и широко используемые в качестве межмодовых конвертеров [6], узкополосных оптических фильтров [7], датчиков физических величин [8] и т. д. Запись таких решеток существенно проще, чем запись береговских решеток, поскольку при этом значительно снижаются требования, накладываемые на когерентность и интенсивность используемого УФ излучения, а также на механическую стабильность схемы записи.

В настоящей работе впервые сообщается об изгото-

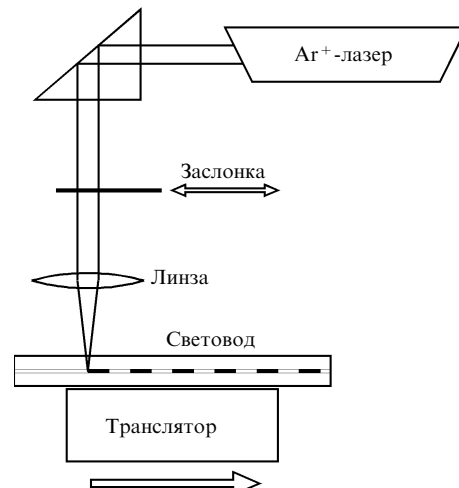


Рис.1. Схема экспериментальной установки для записи решеток показателя преломления с большим периодом.

влении решетки показателя преломления для связи мод сердцевина – оболочка в германосиликатном световоде с помощью излучения непрерывного Ag^+ -лазера при прямом фотовозбуждении триплетного состояния ГКДЦ.

Эксперимент

Для записи решеток мы использовали непрерывный Ag^+ -лазер (производства Coherent Innova 200), работающий в режиме одновременной генерации нескольких спектральных линий ближнего УФ диапазона (333–364 нм). Схема экспериментальной установки представлена на рис.1. Решетка записывалась путем последовательного создания отдельных штрихов. УФ излучение фокусировалось в сердцевину световода сферической кварцевой линзой с фокусным расстоянием 1 см, при этом диаметр фокальной перетяжки составлял ~ 20 мкм. Фокусировка контролировалась с помощью оптического микроскопа по продольному размеру люминесцирующей области сердцевины световода.

Облучаемый световод с молекулярной концентрацией GeO_2 10 % в сердцевине и длиной волны отсечки 0.92 мкм помещался на управляемый компьютером транслятор, который обеспечивал однокоординатное перемещение световода вдоль его оси с минимальным шагом 3 мкм при максимально возможном перемещении 40 мм. Период решетки $L = 200$ мкм был выбран таким, чтобы обеспечить попадание резонансных длин волн, отвечающих связи мод $HE_{11} - HE_{1m}$, где $2 < m < 9$, в удобный для измерений спектральный диапазон 1200 – 1600 нм.

Формируемый штрих решетки длиной 100 мкм состоял из дискретного набора пространственных точек, расстояние между которыми определялось минимальным шагом транслятора, а время облучения в каждой точке равнялось 1 с. После записи такого штриха УФ излучение перекрывалось, затем транслятор смещал световод для записи следующего периода решетки. Таким образом, нам удавалось формировать практически прямоугольный профиль решетки вдоль оси световода с характерным размером перехода между облученной и необлученной областью порядка диаметра фокальной перетяжки 20 мкм. Общая длина решетки составляла $L = 40$ мм.

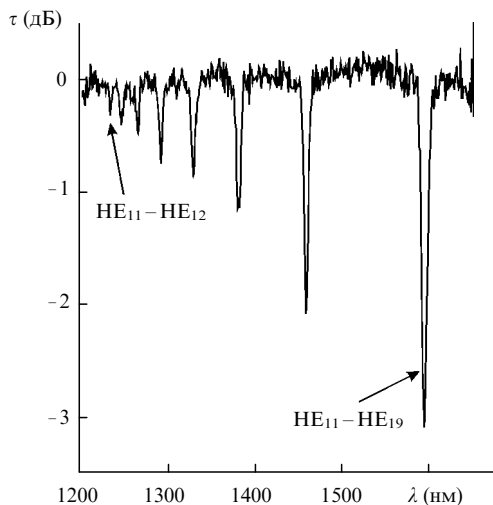


Рис.2. Спектр пропускания решетки длиной 40 мм, записанной в световоде с молекулярным содержанием GeO_2 в сердцевине 10 %. Период решетки 200 мкм.

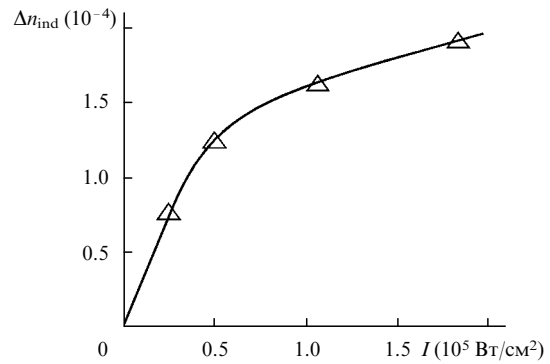


Рис.3. Зависимость индуцированного в сердцевине световода показателя преломления от интенсивности УФ излучения.

Суммарная интенсивность УФ излучения изменялась в диапазоне 20 – 170 кВт/см² внесением в лазерный пучок широкополосных оптических фильтров, что обеспечивало неизменное соотношение между интенсивностями лазерных линий и, соответственно, их вкладами в наведенный ПП. Спектр поглощения решетки измерялся оптическим анализатором спектра фирмы «Anritsu» с использованием в качестве источника излучения вольфрамовой галогенной лампы.

Спектр пропускания длиннопериодной решетки, записанной указанным способом при интенсивности УФ излучения $1.7 \cdot 10^5$ Вт/см², показан на рис.2. Видно, что амплитуда наиболее сильного пика, соответствующего связи мод $HE_{11} - HE_{19}$, составляет более 3 дБ. Полная ширина на полувысоте пика равна 6 нм, что находится в хорошем соответствии с теоретическими предсказаниями и свидетельствует об однородности записанной решетки.

В соответствии с теорией связанных мод [9] потери S в резонансе длиннопериодной решетки с прямоугольной формой штриха описываются уравнением

$$S = \sin^2 \frac{4\Delta n L L}{\lambda_r}, \tag{1}$$

где Δn – амплитуда периодического возмущения в сердцевине; L – интеграл перекрытия фундаментальной (HE_{11}) и оболочечной (HE_{1m} , $m > 1$) мод световода в области с

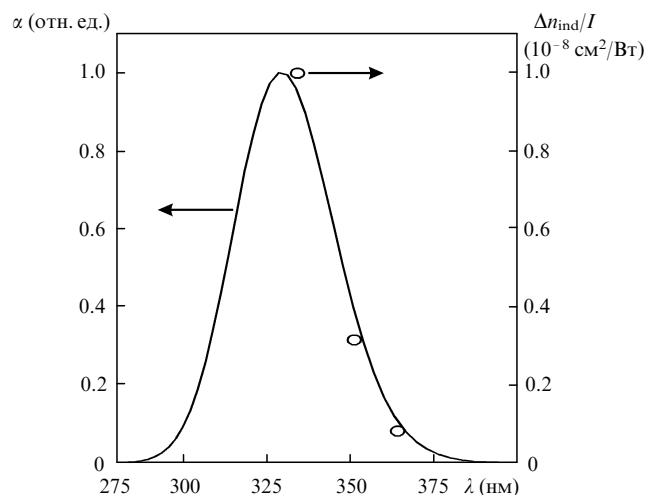


Рис.4. Сопоставление спектральной эффективности наведения показателя преломления (экспериментальные точки) и спектра синглет-триплетного поглощения ГКДЦ (кривая [3]).

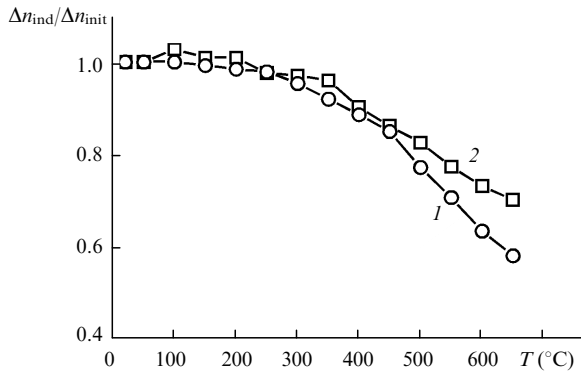


Рис.5. Зависимости относительного изменения индуцированного показателя преломления от температуры отжига для решеток, записанных излучениями с длинами волн 333 – 364 (1) и 248 нм (2).

УФ-индуцированным ПП (в сердцевине световода); λ_r – резонансная длина волны. Для использованного нами световода интеграл перекрытия мод HE_{11} и HE_{19} $I = 0.0765$. Поэтому для решетки, спектр которой приведен на рис.2, индуцированный ПП $\Delta n_{ind} = 2\Delta n \approx 1.9 \cdot 10^{-4}$.

Зависимость Δn_{ind} от интенсивности УФ излучения показана на рис.3. Как и в случае синглет-синглетного возбуждения [10], полученная зависимость имеет тенденцию к насыщению.

Для определения спектральной зависимости амплитуды индуцированного ПП длиннопериодные решетки записывались отдельными линиями излучения Ar^{3+} -лазера. Интенсивность этих линий выбиралась обратно пропорциональной синглет-триплетному поглощению ГКДЦ на данных длинах волн с тем, чтобы поглощенная сердцевинной мощностью не менялась. Оказалось, что спектральная эффективность наведения ПП хорошо согласуется со спектром поглощения ГКДЦ (рис.4), что однозначно свидетельствует об определяющей роли триплетного состояния ГКДЦ в исследуемом процессе.

На рис.5 представлены зависимости относительного изменения ПП для решеток, записанных излучением с длинами волн 333 – 364 нм (кривая 1) и 248 нм (KrF-лазер) (кривая 2), от температуры при изохронном отжиге решеток с временем выдержки при каждой температуре 2 мин. Как оказалось, дефектные центры, образующиеся при прямом фотовозбуждении в триплетное состояние ГКДЦ, имеют практически такую же термостабильность, что и центры, возникающие при возбуждении в полосу поглощения 242 нм (некоторое расхождение кривых на рис.5, по-видимому, связано с различным начальным наведенным ПП Δn_{init}). Это обстоятельство позволяет сделать вывод об аналогичности всех механизмов фотоиндуцированного наведения ПП, вне зависимости от используемой для фотовозбуждения полосы ГКДЦ. Кроме того, такое сравнение подтверждает предположение о значительной роли долгоживущего триплетного состояния T_1 в механизме фоторефрактивности [4].

Заключение

Полученные в настоящей работе результаты показывают, что излучение ближнего УФ диапазона может быть использовано для записи длиннопериодных решеток показателя преломления в германосиликатных световодах. Максимальный наведенный в сердцевине световода ПП в наших экспериментах составил $1.9 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, доступный и широко распространенный Ar^+ -лазер без удвоения частоты может быть использован для изготовления фотоиндуцированных решеток различных типов с большим периодом.

Следует отметить, что описанный способ фотовозбуждения ГКДЦ может быть реализован и для записи брэгговских решеток, однако тогда для повышения когерентности УФ излучения необходимо выделить одну лазерную линию. При этом значительно снижается интенсивность УФ излучения и, по-видимому, эффективность наведения ПП. Как наблюдалось в наших экспериментах, даже значительное увеличение времени облучения не позволяет компенсировать понижение интенсивности записываемого излучения.

Для полного понимания механизмов наблюдаемой фоторефрактивности при прямом триплетном возбуждении и ее корреляции с другими фотоиндуцированными процессами, активированными синглет-триплетным поглощением ГКДЦ, требуются дополнительные исследования. В связи с этим следует отметить, что описанная методика записи длиннопериодных решеток может быть использована для измерения индуцированного показателя преломления.

1. Kashyap R. *Opt. Fiber Technology...*, 1, 17 (1994).
2. Williams D.L., Ainslie B.J., Kashyap R., Maxwell G.D., Armitage J.R., Campbell R.J., Wyatt R. *Proc. SPIE*, 2044, 55 (1993).
3. Neustruev V.B. *J. Phys. Condens. Matter*, 6, 6901 (1994).
4. Dianov E.M., Starodubov D.S. *Optics Letts*, 21, 635 (1996).
5. Dianov E.M., Starodubov D.S. *Proc. SPIE*, 2777, 60 (1995).
6. Kanellopoulos S.E., Handerek V.A., Rogers A.J. *Proc. SPIE*, 2044, 261 (1993).
7. Dianov E.M., Karpov V.I., Kurkov A.S., Medvedkov O.I., Prokhorov A.M., Protopopov V.N., Vasiliev S.A. *OSA Techn. Dig.*, 22, 14 (1995).
8. Dianov E.M., Kurkov A.S., Medvedkov O.I., Vasiliev S.A. *Euro-sensors X* (Leuven, Belgium, September 8–11, p.308, 1996).
9. Тамир Т. (ред.) *Интегральная оптика* (М., Мир, 1978, с.344).
10. Patrick H., Gilbert S.L. *Optics Letts*, 18, 1484 (1993).

E.M.Dianov, S.A.Vasil'ev, D.S.Starodubov, A.A.Frolov, O.I.Medvedkov. Formation of refractive-index gratings in germanosilicate fibres by near-UV radiation.

A refractive-index grating was formed for the first time in a germanosilicate fibre by cw Ar^+ laser radiation in the near-UV range (333–364 nm). The refractive index change induced in a fibre with GeO_2 molecular concentration of 10 % in the core was $1.9 \cdot 10^{-4}$ when the radiation power density was $1.7 \cdot 10^5$ W/cm². The gratings formed in this way were as thermally stable as those formed by KrF laser (248 nm) radiation.