

39. Запись брэгговских решеток как оптических элементов лазера с петлевым резонатором

Е. Э. Попов, И. С. Хахалин, А. П. Погода

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрены явления, сопровождающие процесс записи пропускающих голографических решеток в ниобате лития, легированном различными примесями: железа Fe, титана Ti, эрбия Er. Приводится сравнение характеристик данных материалов. Также обсуждаются отклонения от классического поведения динамики процесса записи решеток.

Ключевые слова: Оптика, Голография, Дифракционные оптические элементы.

Цитирование: Попов, Е. Э. Запись брэгговских решеток как оптических элементов лазера с петлевым резонатором / Е. Э. Попов, И. С. Хахалин, А. П. Погода // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 170–172.

Введение

Предельная яркость твердотельных лазеров ограничена механическими напряжениями, которые возникают в активной среде за счет неоднородности температурного поля, а также населенности энергетических уровней по объему. Это приводит к локальному изменению показателя преломления. Возникающие термооптические искажения задают жесткие требования к охлаждению и катастрофически ограничивают дальность действия лазерного излучения, что является важным в ряде прикладных задач. Параллельно с изменением формы активной среды (диски, волокна) для улучшения теплоотвода и уменьшения механических напряжений привлекательным является метод когерентного сложения мощных твердотельных лазеров. Но излучение отдельных каналов в сфазированной системе формируется в результате конкуренции мод между каналами, что снижает эффективность системы и увеличивает потери, идущие на нагрев системы. Использование спектральных селекторов позволяет

обеспечить различный уровень потерь для центральных и побочных мод, лежащих в диапазоне линии усиления активной среды. Совместное использование статических Брэгговских решеток и динамических решеток коэффициента усиления в активной среде, в качестве спектральных и угловых селекторов излучения, позволяет снизить конкуренцию мод как в каждом из каналов, так и между каналами.

Для записи спектрального Брэгговского внутрирезонаторного селектора важно осуществить подбор твердотельной среды с необходимыми характеристиками лучевой стойкости. Наиболее доступной фоторефрактивной средой является ниобат лития. Для того, чтобы описать и сравнить свойства фоторефрактивных кристаллов на основе ниобата лития с различным содержанием примесей, необходимо разработать оптическую установку, которая позволяет производить запись и считывание голограммы.

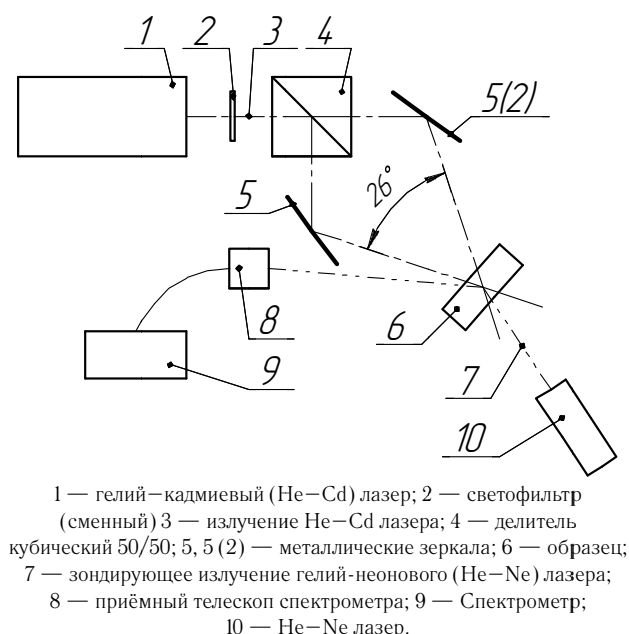


Рис. 1. Схема установки

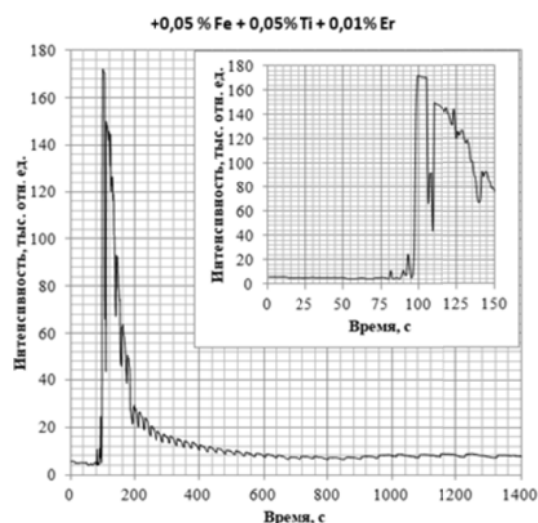


Рис. 2 Мощность отклоненного в первый порядок дифракции излучения в зависимости от времени записи решетки для материала $\text{LiNbO}_3 + 0,05\% \text{Fe} + 0,05\% \text{Ti} + 0,01\% \text{Er}$

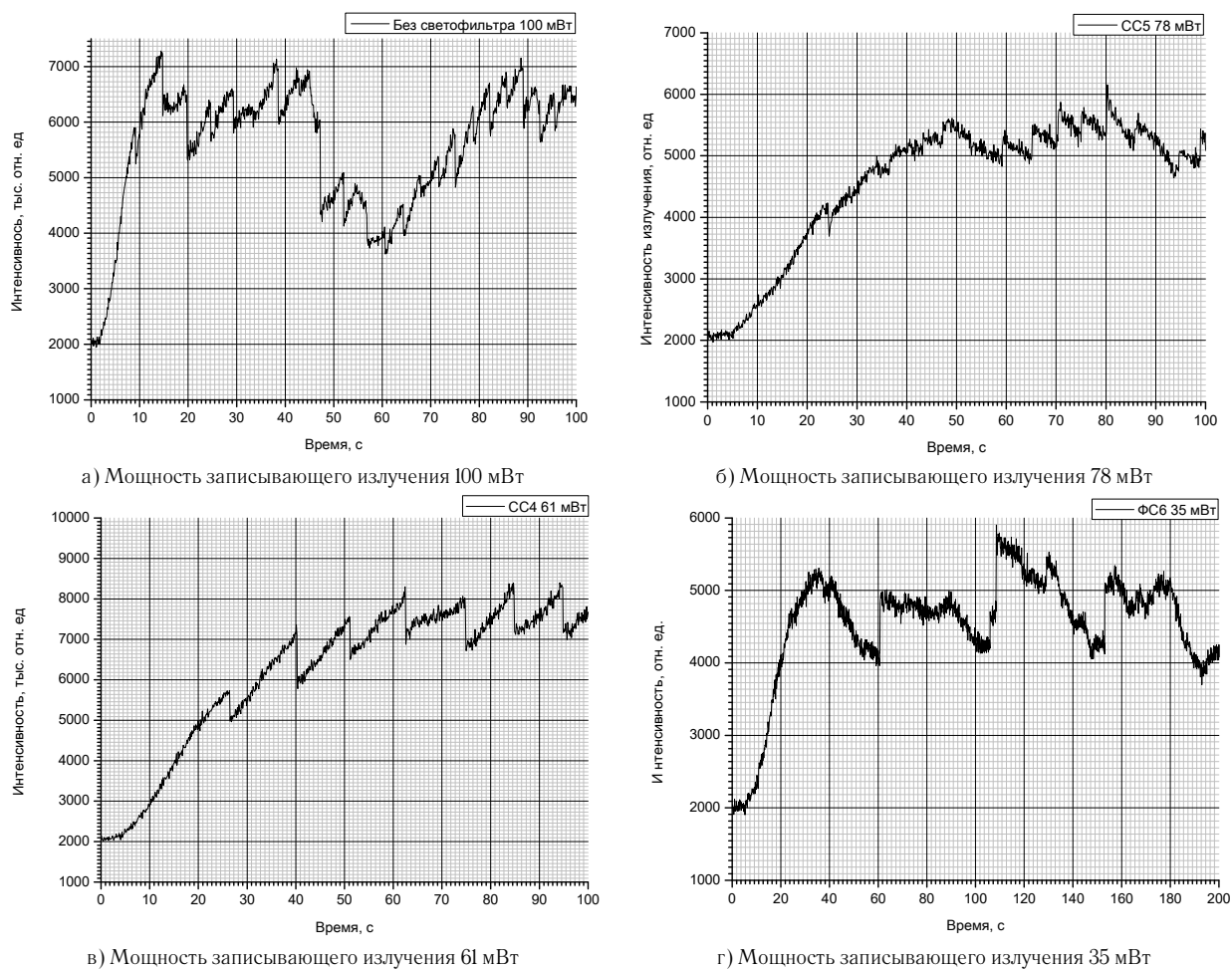


Рис. 3. Динамика дифракционной эффективности решетки. Зависимость интенсивности отклоненного в первый порядок излучения от времени при мощности записывающего излучения

Эксперимент

В эксперименте производилась запись объёмной дифракционной пропускающей решётки в фоторефрактивном материале — ниобате лития LiNbO_3 с различными концентрациями легирующих веществ: железа Fe, титана Ti, эрбия Er — излучением гелий-кадмиевого лазера (441 нм).

Схема установки для регистрации пропускающей толстой голограммы приведена на рис. 1. Запись производилась пучком гелий-кадмиевого непрерывного (He—Cd) лазера с длиной волны 441,6 нм, мощностью 100 мВт. Длина когерентности составляла величину более 10 см, что позволило избавиться от прецизионной точности длин оптических путей. Излучение лазера попадает на кубический делитель, в результате чего образуется два равных по мощности канала излучения. После отражения от поворотных зеркал излучение попадает на образец, в котором в результате интерференции формируется периодическое распределение интенсивности излучения, в результате чего в материале происходят локальные периодические изменения показателя преломления. Для контроля процесса записи решетки в качестве зондирующего излучения использовалось излучение гелий-неонового (He—Ne) лазера. Определение дифракционной эффективности решетки

Брэгга производилось путем измерения мощности дифрагированного излучения, определяемой по показанию спектрометра Avaspec 2048.

Период решётки определяется углом схождения записывающих пучков, который в воздухе составлял 26° . Показатель преломления для всех сред, независимо от наличия примесей, считался равным 2,2. Период решетки в этом случае составляет 220 нм.

Табл. 1. Сравнение времени записи решетки

№ п/п	Материал	Время записи, мин
1	$\text{LiNbO}_3 + 0,03 \% \text{ Fe} + 0,01 \% \text{ Er}$	0,3
2	$\text{LiNbO}_3 + 0,03 \% \text{ Fe}$	1
3	$\text{LiNbO}_3 + 0,05 \% \text{ Fe} + 0,05 \% \text{ Ti}$	1
4	$\text{LiNbO}_3 + \text{Cu}$	> 5
5	$\text{LiNbO}_3 + 0,003 \text{ Fe}$	5
6	$\text{LiNbO}_3 + 0,2 \text{ Fe}$	> 5
7	$\text{LiNbO}_3 + 0,05 \% \text{ Fe} + 0,05 \% \text{ Ti} + 0,01 \% \text{ Er}$	1

Ключевыми факторами подбора среды для записи спектрального селектора является время записи и дифракционная эффективность записанной решетки. Результаты измерения времени записи до определенного порогового значения мощности отклоненного зондирующего излучения приведены в табл. 1. Наибольшую дифракционную эффективность записанной решетки для

материалов, время записи решетки в которых не превышало 1 минуты, показал образец $\text{LiNbO}_3 + 0,05 \% \text{ Fe} + 0,05 \% \text{ Ti} + 0,01 \% \text{ Er}$.

На рис. 2 представлена зависимость интенсивности отклоненного в результате дифракции в первый порядок излучения от времени. Видно, что график имеет ярко выраженный максимум, соответствующий пику дифракционной эффективности. Данное явление объясняется фоторефракцией.

Кроме того, характер кривой не монотонный, а имеет периодические скачки. Для определения возможного порога этого явления, а также зависимости периода скачков от интенсивности записывающего излучения проводился следующий эксперимент. Излучение лазера ослаблялось светофильтрами с различным коэффициентом пропускания (78 %, 61 %, 35 %).

Из графиков рис. 3 видно, что период скачков обратно пропорционален мощности записывающего излучения. Это явление принято связывать с эффектом квазипробоя внутри среды. Упоминание данного эффекта встречается в [2], где описано, что эти скачки представляют собой периодический электрический пробой среды между заряженными областями. При более высоких плотностях мощности записывающего излучения образуется большее количество свободных электронов в единицу времени, следовательно, значение напряжения электрического поля, необходимое

для пробоя достигается за более короткий промежуток времени, т. е. период колебаний уменьшается.

Широко известны различные виды кривой дифракционной эффективности. В работе [1] были теоретически обоснованы некоторые характерные кривые для зависимости дифракционной эффективности от времени экспозиции. Так же общеизвестна и теория Когельника, которая описывает динамику дифракционной эффективности решетки. Явление скачкообразного нарушения монотонности кривой, приводящего к снижению дифракционной эффективности в результате электрического квазипробоя описано в [2]. Скачки характеризуются значительно большим периодом, нежели в обсуждаемых экспериментах. Кроме того, в отличие от результатов [2], встречается не только уменьшение, но и скачкообразное увеличение дифракционной эффективности. Периодический резкий рост дифракционной эффективности может быть связан с большим количеством поглощенного в материале излучения, так как наблюдается в случае высоких плотностей мощности записывающего излучения (около 0,032 МВт на квадратный метр) в образцах с низким процентом легирования (порядка 0,001 %), либо в образцах с высокой концентрацией (порядка десятых процента) даже при относительно низкой (около 0,011 МВт на квадратный метр) плотности мощности записывающего излучения.

Список источников

- [1] **Magnusson, R.** Use of dynamic theory to describe experimental results from volume holography / R. Magnusson, T. K. Gaylord // J. Appl. Phys. — 1976. — Vol. 47. — № 1. — P. 190–199.
- [2] **Шварц, К. К.** Фотопреломление в кристаллах ниобата лития и поиск новых электрооптических материалов для записи оптической информации / К. К. Шварц. — Л.: Наука, 1978. — 35–44 с.

Writing of Bragg gratings as an optical elements of a laser with loop cavity

E. E. Popov, I. S. Khakalin, A. P. Pogoda

Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D. F. Ustinov, Saint Petersburg, Russia

The processes of writing of Bragg gratings, as an optical elements of laser with loop cavity discussed. The features for transmission gratings discussed.

Keywords: Optics, Holography, Diffractive optical elements.