

## 29. Исследование зависимости показателя преломления фоточувствительного слоя БХЖ от температуры

К. С. Коренной, Ф. А. Саттаров, А. Ф. Скочиллов, Д. Я. Логинов  
АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики», Казань, Россия

В представленной работе проведено исследование влияния температуры фоточувствительного слоя бихромированной желатины (БХЖ) на её средний показатель преломления. Показано, что чем больше разница показателей преломления фоточувствительного слоя и стеклянной подложки дифракционной решётки, на которую нанесён этот слой, тем больше становится разница между минимальным и максимальным значением дифракционной эффективности в зависимости от длины волны.

*Ключевые слова:* Бихромированная желатина, Показатель преломления.

*Цитирование:* Коренной, К. С. Исследование зависимости показателя преломления фоточувствительного слоя БХЖ от температуры / К. С. Коренной, Ф. А. Саттаров, А. Ф. Скочиллов, Д. Я. Логинов // HOLOEXPO 2019 : XVI международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — С. 154–158.

Для получения дифракционных оптических элементов (ДОЭ) с высокой дифракционной эффективностью в качестве фоточувствительного слоя нередко используются слои бихромированной желатины (БХЖ). Такие ДОЭ имеют минимальные рассеивание и поглощение света, при этом, в случае необходимости, одновременно обеспечивают высокий показатель дисперсии в рабочем спектральном диапазоне и большую светосилу в приборе [1, 2]. Эти ДОЭ успешно используются в различных областях науки и техники: в спектральной аппаратуре [3], системах ночного видения [4], в средствах защиты фотоприёмных устройств [5] и т. д.

Теоретический расчёт [6] показал, что такие элементы, как голограммные селекторы, состоящие из комбинации призмы и объемной пропускающей ненаклонной дифракционной решётки, которые работают при условии полного внутреннего отражения, могут иметь высокую дифракционную эффективность при автоколлимации падающего излучения для центральной длины волны и при этом работать в широком спектральном диапазоне. Автоколлимация подразумевает, что дифракция на ДОЭ должна удовлетворять условию Вульфа — Брегга:

$$2nd \sin \theta = m\lambda \quad (1)$$

где  $n$  — показатель преломления среды,  $d$  — период ДОЭ,  $\theta$  — угол падения излучения,  $m$  — порядок дифракции,  $\lambda$  — рабочая длина волны.

Эффективность селектора [6, формулы (3) и (4)] напрямую зависит от показателя преломления слоя БХЖ селектора  $n_s$ , который, в ходе непосредственной работы в резонаторе лазера,

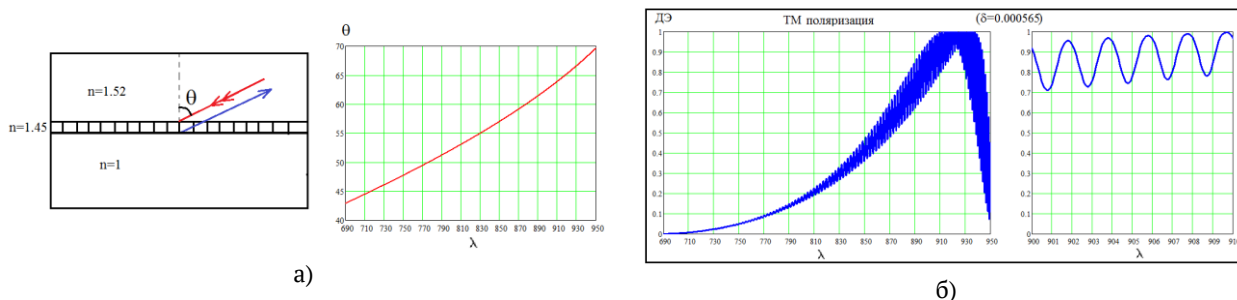


Рис. 1. Принцип работы голографического селектора (а) и зависимость дифракционной эффективности (при глубине модуляции  $\delta = 0,000565$ ) от длины волн  $\lambda$  (б) для ТМ-поляризации

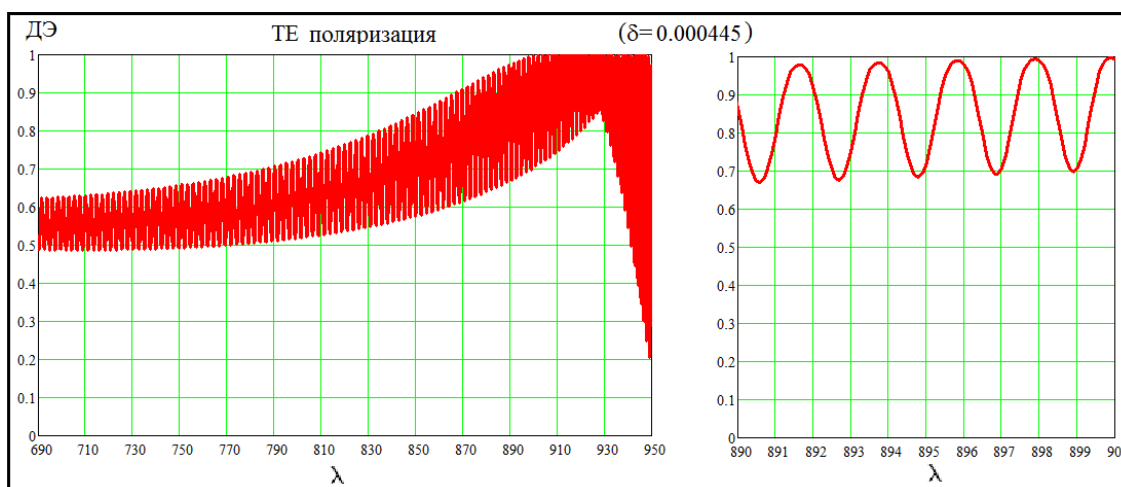


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности (при  $\delta = 0,000445$ ) от длины волн  $\lambda$  для ТЕ-поляризации

может изменяться в результате термического нагрева. Исходя из сказанного становится очевидно, что оценка изменения показателя преломления в зависимости от температурного воздействия требует отдельного изучения.

В качестве образцов были взяты голографические селекторы на основе БХЖ, изготавливаемые в АО «НПО ГИПО» для импульсного перестраиваемого Ti: Sapphire лазера. Согласно спецификации, два таких селектора должны перекрывать весь рабочий спектральный диапазон лазера (690–950 нм) в режиме ТМ-поляризации (рисунок 1).

Расчёты показывают, что ввиду разности показателей преломления дифракционной решётки на БХЖ (ДР) и призмы из стекла К8 возникает интерференция волн, отраженных от границ воздух-БХЖ и БХЖ-стекло, что приводит к синусоидальной модуляции дифракционной эффективности (ДЭ) селектора. Однако, такой разброс ДЭ оказывает незначительное влияние на общую выходную энергию лазерного излучения, поскольку на неё в большей степени влияет неравномерность энергии импульса задающего генератора, и поэтому, в целом, ДЭ можно усреднить. Специалистами АО «НПО ГИПО» проведено теоретическое исследование,

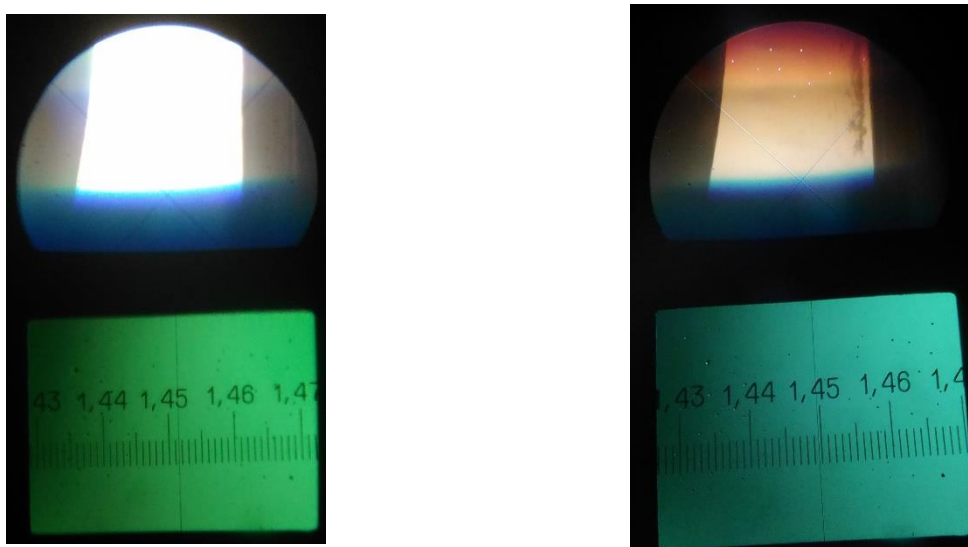


Рис. 3. Показатели преломления БХЖ селекторов 1 и 2 до проведения испытаний при НУ

Таблица. Значения показателей преломления  $n_{s1}$  и  $n_{s2}$  от температуры селектора

| Показатель преломления | Значение при температуре                |   |   |
|------------------------|---|---|---|
|                        | $t_s \approx 10 \text{ }^\circ\text{C}$ | $t_s \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$ | $t_s \approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $n_{s1}$               | 1,453                                   | 1,4515                                  | 1,448                                   |
| $n_{s2}$               | 1,4485                                  | 1,4495                                  | 1,447                                   |

которое показало, что наиболее оптимальным режимом работы лазера является вариант с использованием ТЕ-поляризации, при этом весь рабочий спектральный диапазон перекрывается при использовании одного селектора с меньшей  $\delta$  (рисунок 2).

После оценки результатов, представленных выше, проводилась оценка изменения показателей преломления двух образцов селекторов ( $n_{s1}$  и  $n_{s2}$ ) при изменении окружающих условий. На рисунке 3 показаны  $n_{s1}$  и  $n_{s2}$  до проведения испытаний при нормальных условиях (температура селектора  $t_s \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), измеренные с помощью рефрактометра ИРФ-454.

В течение времени работы лазера температура селектора неизбежно изменяется, что непосредственно влияет на  $n_s$ . На рисунках 4 и 5 показаны изменения показателя преломления слоёв БХЖ при температуре селектора  $t_s \approx 10 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_s \approx 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , соответственно.

Из представленных рисунков видно, что показатели преломления слоёв БХЖ меняются, однако корреляцию зависимости выявить трудно ввиду того, что параметры изготовления ДР на селекторах могут меняться: различное время экспонирования, проявления и т. д. Такое изменение показателей преломления влияет на оптический путь лазерного излучения и ДЭ селектора. В связи с этим требуется дальнейшее изучение приведённого выше явления.

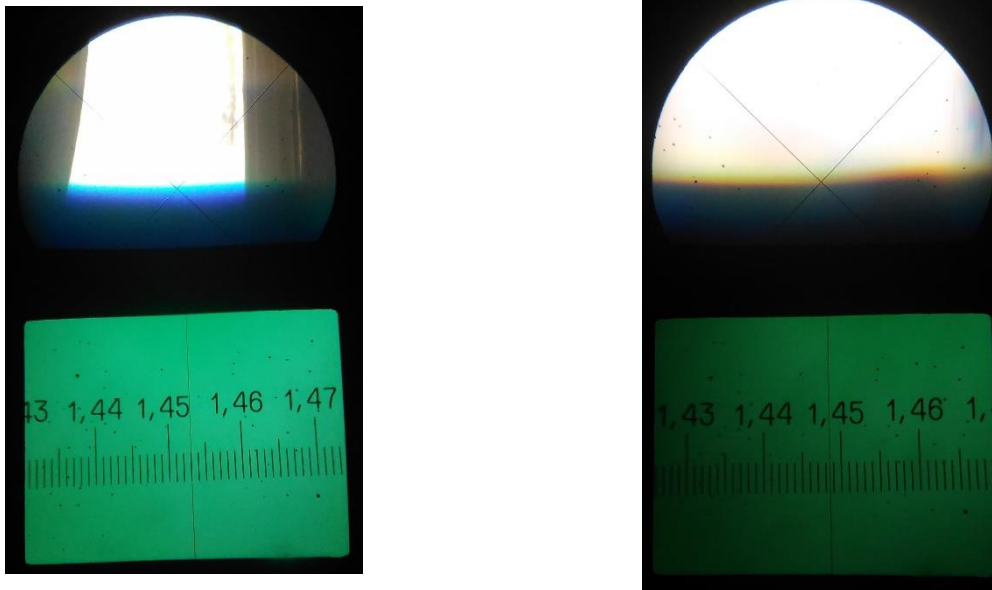


Рис. 4. Показатели преломления БХЖ селекторов 1 и 2 при температуре ДОЭ  $\approx 10$  °С

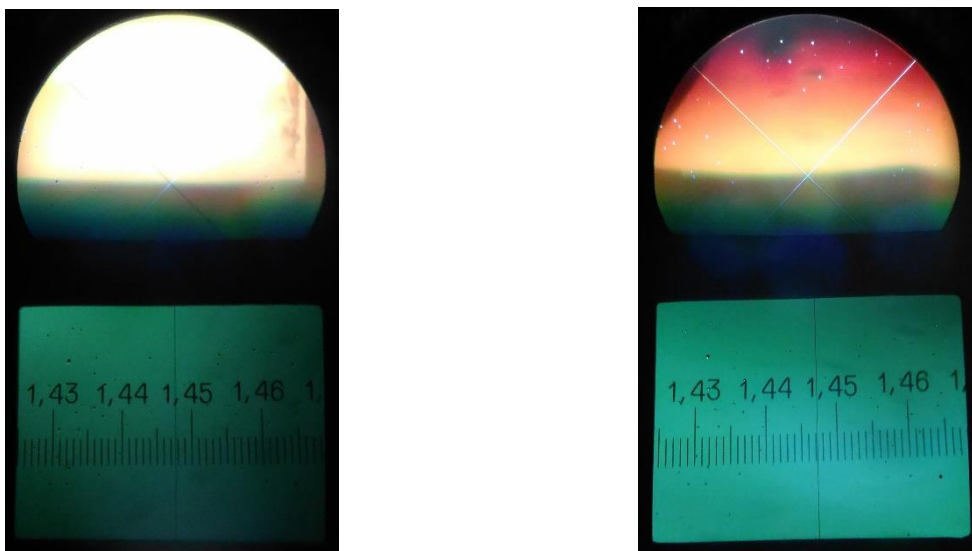


Рис. 4. Показатели преломления БХЖ селекторов 1 и 2 при температуре ДОЭ  $\approx 30$  °С

### Список источников

- [1] **Кольер, Р.** Оптическая голография / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин — М.: Мир. — 686 с.
- [2] **Лукин, А. В.** Крупногабаритные голограммные объемно-фазовые дифракционные решетки для спектральной аппаратуры высокого разрешения / А. В. Лукин, А. А. Белокопытов, Л. А. Максакова, Т. Б. Сидорова, Ф. А. Саттаров, А. Ф. Скочилов, С. Н. Тугаринов, Н. М. Шигапова // Сборник трудов 12 международной конференции «Голоэкспо-2015», г. Казань, 12–15 октября 2015г. — С. 295–297.
- [3] **Тугаринов, С. Н.** Новый класс спектрометров-полихроматоров высокого разрешения на основе пропускающих голографических дифракционных решеток / С. Н. Тугаринов, А. А. Белокопытов, А. В. Лукин, Н. Н. Науменко, Ф. А. Саттаров, В. В. Серов, Н. М. Шигапова, В. П. Ярцев // Контенант. — 2016. — Том 15 — № 3 — с. 43–50.

- [4] **Гусарова, Н. И.** Изготовление голограммных зеркал для систем ночного видения / Н. И. Гусарова, Д. С. Лушников, В. В. Маркин, С. Б. Одинокоев, В. В. Поздняков // Оптический журнал. — 2011. — Том 2 — № 78 — с. 36–41.
- [5] **Белокопытов, А. А.** Голограммные Notch-фильтры как эффективное средство защиты фотоприемных устройств оптико-электронных приборов от воздействия мощных лазерных пучков / А. А. Белокопытов, Т. А. Лукина, Т. Б. Сидорова, Н. М. Шигапова // Сборник трудов 12 международной конференции «Голоэкспо-2015», г. Казань, 12–15 октября 2015г. — С. 162–164.
- [6] **Скочиллов, А. Ф.** Дифракционная эффективность объёмной фазовой пропускающей голограммы при полном внутреннем отражении ТМ-волны на границе голограммы / А. Ф. Скочиллов // Оптический журнал. — 1993. — № 9 — С. 50–52.