

## УЗКОПОЛОСНЫЕ ГОЛОГРАММНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

© 2007 г. **И. Г. Вендеревская\***, канд. техн. наук; **Т. А. Лукина\*\***, канд. техн. наук;  
**А. Ф. Скочиллов\***, канд. физ.-мат. наук; **Н. М. Шигапова\***

\* НПО “Государственный институт прикладной оптики”, г. Казань

\*\* Plateforme PERDYN, Brest, France

Показана возможность получения узкополосных голограммных фильтров, работающих в спектральной области 300–350 нм на слоях бихромированной желатины.

Коды OCIS: 090.2890.

Поступила в редакцию 08.09.2006.

Узкополосные голограммные фильтры (Notch-фильтры) обладают высокой лучевой прочностью и обеспечивают эффективное подавление лазерного излучения при высоком коэффициенте пропускания вне полосы подавления.

Notch-фильтры применяются как в рамановской спектроскопии для подавления рассеянного лазерного излучения, используемого для возбуждения спектров комбинационного рассеяния и люминесценции, так и для защиты глаз операторов и фотоприемных устройств различного назначения от воздействия мощных лазерных пучков в видимой и ближней (ИК) областях спектра.

Голограммный узкополосный фильтр представляет собой объемную отражательную голограмму, записанную по схеме Денисюка во встречных пучках в светочувствительном слое, нанесенном на стеклянную пластинку. После экспонирования и проявления пластинка заклеивается по всей поверхности защитным стеклом с помощью оптического клея, что придает изделию высокую стойкость к механическим повреждениям и воздействию окружающей среды.

Для голографического процесса, наряду с разрешающей способностью светочувствительного материала, важной характеристикой является его спектральная чувствительность. Очевидно, что длина волны излучения лазерного источника, используемого для записи голограммы, должна находиться в диапазоне спектральной чувствительности материала [1].

Для изготовления узкополосных голограммных фильтров обычно применяются газоразрядные аргон-лазеры с длиной волны  $\lambda = 488$  и  $514$  нм. В качестве регистрирующей среды используются слои бихромированной желатины (БХЖ). Обладая высокой разрешающей способностью, этот материал позволяет получить голограммные оптические элементы (ГОЭ) с высокой дифракционной эффективностью и хорошими эксплуатационными качествами

[2–5]. Этот материал позволяет также записывать голограммные Notch-фильтры, способные функционировать одновременно на нескольких длинах волн. В ГИПО разработаны методики и технология получения узкополосных голограммных фильтров на видимую и ближнюю ИК области спектра на основе использования слоев БХЖ.

Однако при решении ряда задач (например, лидарной диагностики) требуются узкополосные фильтры на коротковолновую область спектра [6]. К примеру, в лидаре типа МВЛ-60, предназначенном для оперативного дистанционного анализа характеристик атмосферного аэрозоля и облачных образований в атмосфере, определение концентрации и размеров частиц проводится дистанционным лазерным зондированием, при котором измеряются сигналы обратного рассеяния на трех длинах волн (355, 532 и 1064 нм).

Как известно, рабочая длина волны ( $\lambda_1$ ) данного типа ГОЭ определяется длиной волны записи ( $\lambda_0$ ), геометрией записи и восстановления и может быть выражена формулой

$$\lambda_1 = \lambda_0 t \cos \alpha_1 / \cos \alpha_0,$$

где  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$  – углы записи и восстановления внутри светочувствительного слоя,  $t$  – отношение величины набухания и усадки проявленного слоя.

Особенностью технологии получения голограммных узкополосных фильтров на слоях БХЖ является увеличение толщины светочувствительного слоя в процессе обработки ( $t > 1$ ), т. е. наблюдается “красное” смещение рабочей длины волны Notch-фильтра.

Как следует из формулы, смещение в коротковолновую область спектра возможно при изменении геометрии восстановления ( $\alpha_1 \gg \alpha_0$ ) и работе при больших углах. Однако такое “синее” смещение ограничено скользящим падением на подложку и часто уменьшается из-за процесса набухания БХЖ.

Кроме этого, необходимость работы при больших углах восстановления создает дополнительные трудности и часто ухудшает оптические характеристики Notch-фильтров.

При получении голограммных фильтров на слоях БХЖ методом прямой записи в коротковолновой области спектра возникает ряд осложнений. Во-первых, пропускание слоев неэкспонированной БХЖ в области 250–350 нм практически равно нулю (рис. 1), во-вторых, ксилол, используемый в качестве иммерсирующей жидкости на стадии экспонирования, сильно поглощает лазерное излучение в спектральной области короче 350 нм. Низкое пропускание (рис. 1) светочувствительного слоя и ксилола приводит, в свою очередь, к возникновению неоднородностей фильтра по толщине и резкому ухудшению его оптического качества.

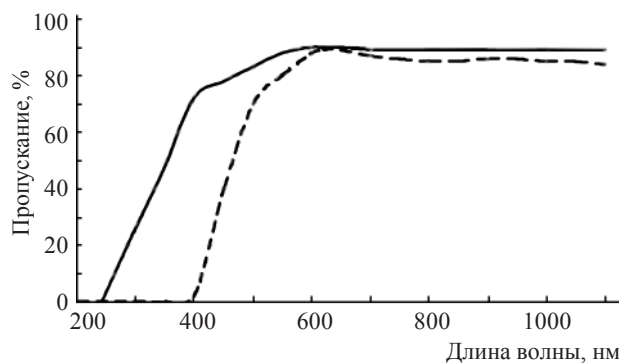
Кроме этого, отсутствуют лазеры с требуемыми характеристиками (когерентность, мощность), а юстировка схемы записи голограмм значительно затруднена.

Для получения голограммных фильтров, работающих в коротковолновой области спектра, предложен метод, описанный ниже.

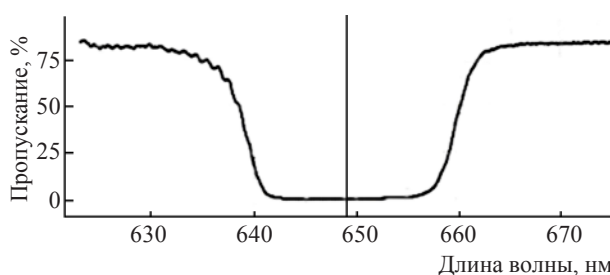
Практически всегда фильтр, подавляющий излучение с длиной волны  $\lambda_1$ , имеет вторую гармонику рабочей области фильтра, т. е. подавляет излучение с длиной волны  $\lambda_2 = \lambda_1/2$  [7]. Следовательно, для получения голограммного фильтра на длину волны 300–350 нм надо создать узкополосный голограммный фильтр с основной гармоникой на 600–700 нм и “активировать” вторую гармонику, находящуюся в требуемом диапазоне. Таким образом, становится возможным применение слоев на основе БХЖ для получения фильтров, работающих в спектральной области 300–350 нм.

Как показывают эксперименты, для получения голограммного фильтра на длину волны 300–350 нм методом использования второй гармоники следует получать “широкие” фильтры с полосой подавления примерно  $500\text{--}700\text{ см}^{-1}$ , тогда как спектральная ширина второй гармоники составляет примерно половину от спектральной ширины основной гармоники. Однако в большинстве практических задач наличие широкой полосы подавления в видимой области спектра не является препятствием.

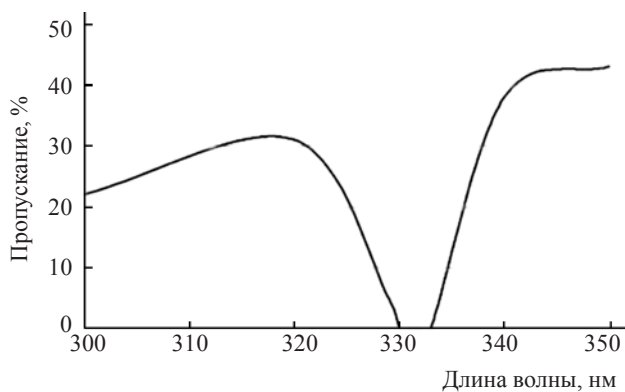
На рис. 2 и 3 приведены экспериментальные спектры пропускания узкополосного голограммного фильтра на первой и второй гармониках. График для первой гармоники (рис. 2) был получен с помощью автоматизированного измерительного комплекса КФ-1 с фотоэлектрической регистрацией спектров [8], разработанного в ГИПО и предназначенного для контроля узкополосных голограммных фильтров в видимой и ближней ИК областях спектра. График



**Рис. 1.** Кривые спектрального пропускания необработанного (пунктирная линия) и проявленного (сплошная линия) слоев желатины толщиной 70–80 мкм, нанесенных на кварцевую подложку.



**Рис. 2.** Экспериментальный спектр пропускания узкополосного голограммного фильтра на первой гармонике.



**Рис. 3.** Экспериментальный спектр пропускания узкополосного голограммного фильтра на второй гармонике.

для второй гармоники (рис. 3) был получен с помощью спектрофотометра СФ-46.

Таким образом, показана возможность получения на слоях бихромированной желатины эффективных голограммных узкополосных фильтров, работающих в области 300–350 нм, за счет использования второй гармоники и подходящей геометрии восстановления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые регистрирующие среды для голографии / Под ред. Барачевского В.А. Л.: Наука, 1983. 199 с.
2. *Salter J.L., Loeffler M.F.* Comparison of dichromated gelatin and Du Pont HRF-700 photopolymer as media for holographic notch filter // *Proc. SPIE*. V. 1555. 1991. P. 268–278.
3. *Tikhomirov A.Y., McKay T.J.* Design of Low-Haze Holographic Notch Filters // *Appl. Opt.* 1999. V. 38. P. 4528–4532.
4. *Tikhomirov A.Y., McKay T.J., Staromlyska J.* Construction of high-quality narrow-band holographic filters // *Optical and Quantum Electronics*. 1999. V. 31. № 5–7. P. 535–543.
5. *Leong M.H., Song J.B., Lee I.W.* Simplified processing method of dichromated gelatin holographic recording material // *Appl. Opt.* 1991. V. 30. № 29. P. 4172.
6. *Образцов В.С., Михайлова А.Г., Подоба В.И.* Голографические спектроделители для УФ области спектра // *Письма в ЖТФ*. 2004. Т. 30. В. 10. С. 6–11.
7. *Лукина Т.А., Скоцилов А.Ф.* Голограммные Notch фильтры на высших гармониках // Тез. докл. XVI Международной научно-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. М.: 2000. С. 116.
8. *Лукина Т.А.* Высокоэффективные рельефно- и объемно-фазовые голограммные оптические элементы // Автореферат диссертации. Казань, 1999. 22 с.