

УДК 535.317.1+535.312

ПОЛУЧЕНИЕ ГОЛОГРАММНЫХ ФИЛЬТРОВ В УФ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА 320–430 нм

© 2005 г. Г. Б. Семенов*, докт. техн. наук; А. К. Аристов*; А. В. Варнаев**; В. М. Гроздилов***;
А. П. Жевлаков**, канд. физ.-мат. наук; Т. В. Щедрунова*

* ВНИЦ "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", Санкт-Петербург

** НИИ лазерной физики, Санкт-Петербург

*** Главная астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

Экспериментально обоснована оптическая схема для получения УФ голограммных фильтров отражательного типа с помощью импульсно-периодического эксимерного Хе-Сl-лазера. Для уменьшения требований к длине когерентности лазера до десятых долей миллиметра использована однопучковая схема получения голограмм, предложенная ранее Ю.Н. Денисюком, а для выравнивания освещенности, создаваемой эксимерным лазером в области регистрации фильтров, – схема получения голограмм в пространственно-некогерентном свете. Для астрономических наблюдений изготовлены фильтры на длины волн 345, 375 и 405 нм с коэффициентами отражения от 87 до 91%.

Коды OCIS: 090.2890.

Поступила в редакцию 02.08.2004.

Голограммные оптические элементы, такие как узкополосные фильтры и селективно отражающие свет зеркала, предназначенные для использования в видимой и ближней ИК областях спектра, давно и активно производятся целым рядом фирм. Они представляют собой объемные отражательные голограммные дифракционные решетки, зарегистрированные в чисто фазовой среде – в слое бихромированной желатины (БХЖ).

Голограммные фильтры и селективные зеркала для УФ области спектра также актуальны. Наличие скачка бальмеровской серии в указанном спектральном диапазоне позволяет при астрономических наблюдениях определять спектральный класс звезды, абсолютную величину ее светимости, расстояние до звезды, возраст, химический состав и ряд других важных параметров. Спектральный диапазон 320–430 нм особенно интересен при наблюдении за звездами ранних спектральных классов О–В–А, принятых в гарвардской системе классификации звезд.

Однако изготовление таких фильтров сдерживается в настоящее время отсутствием пригодных для голографии лазеров с излучением в УФ области спектра. Единственный лазер, который можно использовать для этой цели, разработан недавно американской фирмой "Gam Laser" [1]. Это эксимерный лазер EX50LN, в котором за счет введения в резонатор лазера диспергирующих оптических элементов, использования высокостабильного резонатора и ряда других мер реализована длина когерентности до 7 см на длине волны излучения 248 нм при энергии излучения в импульсе 10 мДж. С по-

мощью такого лазера можно изготавливать фильтры и селективные зеркала для любой области УФ диапазона спектра, начиная с длины волны 250 нм.

Однако названные выше голограммные оптические элементы могут быть изготовлены и с помощью обычных эксимерных лазеров с длиной когерентности около 1 мм, если использовать схемы получения таких элементов в пространственно-некогерентном свете.

В данной статье представлены результаты получения голограммных фильтров для УФ области спектра с помощью эксимерного лазера ЭЛИ-94 на молекуле ХеСl и оптической схемы для регистрации голограмм в пространственно-некогерентном свете.

Энергия излучения в импульсе лазера ЭЛИ-94 составляла около 20 мДж на длине волны 308 нм, а частота следования импульсов – 10 Гц при воздушном охлаждении лазера. Из остальных параметров использованного нами лазера отметим следующие: выходное излучение лазера было плоскополяризовано в вертикальной плоскости благодаря наличию Брюстеровских окон на кювете с рабочей смесью газов. Сечение пучка излучения лазера представляло собой прямоугольник с размерами приблизительно 10×20 мм, распределение интенсивности в котором было более неоднородно в направлении горизонтальной стороны (20 мм). Расходимость пучка составляла 4×10^{-3} рад в горизонтальной плоскости и 2×10^{-3} рад в вертикальной плоскости.

В качестве прототипа оптической схемы для получения голограммных фильтров была применена схема, предложенная в работе [2]. В ней для созда-

ния пространственно-некогерентного света использовался рассеиватель света из полиэтилена, приводимый во вращение электродвигателем. Параллельный пучок лучей излучения He-Ne-лазера, прошедший через вращающийся модулятор света, использовался для освещения фотопластинки, находящейся в контакте с плоским зеркалом. Зарегистрированное на фотопластинке голограммное зеркало имело дифракционную эффективность более 90% при углах рассеяния света модулятором не более 2° . Однако, как показано автором статьи, увеличение угла рассеяния света модулятором до значений больше 2° приводило к резкому уменьшению дифракционной эффективности. По этой причине мы видоизменили схему получения голограммных фильтров таким образом, чтобы вращающийся модулятор света располагался в месте фокусировки пучка излучения лазера (рис. 1).

В этом случае дифракционная эффективность голограммного фильтра не зависела от угла рассеяния света модулятором. В соответствии с этой схемой пучок излучения эксимерного лазера 1, близкий к параллельному, фокусировался линзой 2 на матированную поверхность вращающегося модулятора света 3. Линза 4 формировала близкий к параллельному пучок лучей света и направляла его с помощью зеркала 5 на фотопластинку 6, на которую со стороны плоского зеркала 7 был нанесен слой БХЖ. Фотопластинка 6 устанавливалась в контакте с плоским зеркалом 7. Линзы 2 и 4, модулятор 3 и фотопластинка 6 были изготовлены из кварцевого стекла марки КУ. Детали 6 и 7 были размещены в кювете с иммерсионной жидкостью (ортоксилол, $n = 1,5054$) для устранения переотражений световых пучков между ними.

Модулятор света 3 приводился во вращение с частотой 200 об/мин с помощью электродвигателя. При получении фильтра отраженное плоским зеркалом 7 излучение образовывало опорную волну, а излучение, падающее на фотопластинку со стороны зеркала 5, — объектную волну.

Разность хода между интерферирующими объектным и опорным пучками составляла менее 0,1 мм

в пределах всей поверхности фотопластинки. Отметим, что подобная схема записи голограмм с минимальными требованиями к длине когерентности источника для получения голограмм была впервые предложена Ю.Н. Денисюком [3].

При изготовлении фильтров мы придерживались следующих основных требований: коэффициенты отражения фильтров ρ должны иметь максимальные значения при выполнении условия брэгговского отражения излучения для всех изготавливаемых фильтров; полуширина области спектрального отражения фильтров $\delta\lambda_{1/2}$ должна составлять около 35 нм для спектральных линий 345 и 405 нм и 25 нм для спектральной линии 375 нм.

Для изготовления голограммных фильтров мы использовали слой БХЖ ДС [4]. Схема изготовления фильтров в пространственно-некогерентном свете позволила существенно повысить равномерность излучения эксимерного лазера в пределах области записи фильтров за счет вращающегося рассеивателя света 3, установленного в общем фокусе линз 2 и 4. Существенное преимущество этой схемы связано также со «сглаживанием» изофазных поверхностей фильтра за счет усреднения регистрируемой интерференционной картины при вращении модулятора света 3, что приводит к увеличению дифракционной эффективности фильтра и уменьшению рассеянного света.

Вращающийся модулятор света был изготовлен путем матирования одной из его поверхностей с помощью микропорошка М28. При этом была реализована плавная неравномерность освещения фотопластинки не более 30% от ее центра к краям в пределах области записи фильтров, что вполне достаточно для получения фильтров.

При изготовлении фильтров с максимальным отражением света на длинах волн 345 и 375 нм углы падения параллельных пучков излучения на поверхность фотопластинки составляли 45° и 60° соответственно. При изготовлении фильтров на рабочую длину волны 405 нм параллельный пучок излучения вводился в иммерсионную кювету с помощью

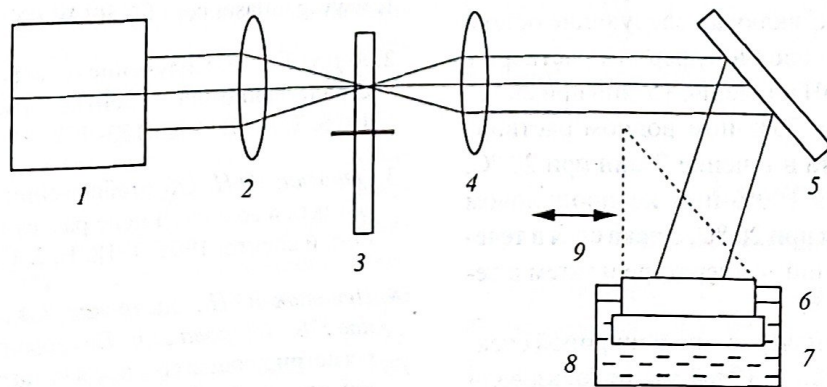


Рис. 1. Оптическая схема для записи голограмм с пространственно-некогерентным излучением эксимерного лазера (пояснения в тексте).

Параметры фильтров, изготовленных с помощью оптической схемы, представленной на рис. 1.

$\lambda_{\text{раб}}, \text{ нм}$	$\delta\lambda_{1/2}, \text{ нм}$	$\rho, \%$
345	35	87
375	25	86
405	35	91

прямоугольной призмы 9 (см. рис. 1) с углами при гипотенузной грани 45° , выполненной из кварцевого стекла КУ. Угол падения пучка света на гипотенузную грань призмы составлял $5,2^\circ$.

В таблице представлены данные, относящиеся к образцам фильтров, изготовленных нами для нескольких спектральных линий, расположенных в спектральном диапазоне от 320 до 430 нм. Отметим, что максимальные требования к разрешающей способности слоя БХЖ ДС предъявлялись при изготовлении фильтров для длины волны отражения света 345 нм. В этом случае было реализовано разрешение 8540 лин/мм. При этом, как следует из таблицы, не наблюдалось уменьшения коэффициентов отражения фильтров.

Фильтры изготавливались на подложках из кварцевого стекла марки КУ с размерами $50 \times 60 \times 3$ мм и при работе освещались под углом падения излучения 30° . Толщина слоя БХЖ ДС при этом составляла 13 мкм. Пропускание такого фильтра на длине волны 345 нм с учетом оптического клея Norland 61, использованного для его склеивания, составляло 86%. При этом обе внешние поверхности фильтра не имели просветления и френелевские потери на отражение излучения от этих поверхностей входили в общую величину измеренных потерь.

В первом столбце таблицы приведены длины волн излучения, соответствующие максимальным коэффициентам отражения фильтров, во втором столбце – спектральная ширина отражения излучения фильтрами по уровню $1/2$ относительно максимального отражения, в третьем столбце – значения коэффициентов отражения фильтров на указанных длинах волн максимального отражения.

Процесс послезэкспозиционной обработки голограмм на слое БХЖ ДС включал следующие основные этапы: набухание слоя в буферном растворе с заданным значением pH в течение 15 мин при 20°C , обезвоживание слоя в 75%-ном водном растворе изопропилового спирта в течение 7 мин при 20°C , обезвоживание слоя в 100%-ном изопропиловом спирте в течение 8 мин при 20°C , сушка слоя в течение 5 мин при комнатной температуре и затем в течение 60 мин при 100°C .

Для изготовления фильтров с полушириной спектрального отражения 25 и 35 нм мы использовали

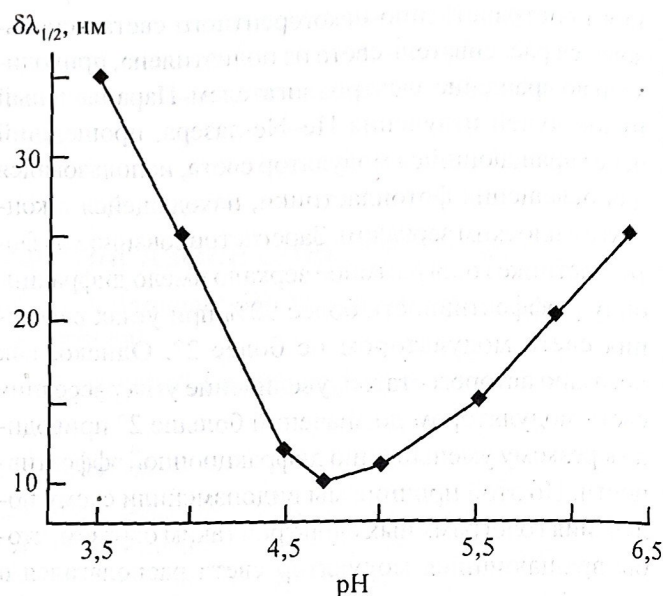


Рис. 2. Зависимость $\delta\lambda_{1/2}$ фильтров от pH буферного раствора при проявлении.

полученную нами ранее зависимость $\delta\lambda_{1/2}$ от pH буферного раствора, используемого при проявлении фильтров (рис. 2).

Как следует из рис. 2, для получения фильтров со значениями полуширины спектрального отражения 35 и 25 нм необходимо при их проявлении использовать буферные растворы с pH = 3,5 и 3,9 соответственно.

Таким образом, выполненные нами исследования показали возможность получения фильтров для спектральной области 320–430 нм с помощью эксимерных импульсных лазеров в пространственно-некогерентном свете.

Авторы благодарны И.В. Багрову и Н.В. Волочанову за помощь при проведении исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-07-90254) и Международного научно-технического центра (грант № 0991).

ЛИТЕРАТУРА

1. www.gamlaser.com EX50LW EXIMER LASER.
2. Корешев С.Н. Получение голограммных зеркал в пространственно-некогерентном свете // Опт. и спектр. 1986. Т. 61. В. 1. С. 133–137.
3. Денисюк Ю.Н. Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения // Опт. и спектр. 1965. Т. 18. В. 2. С. 275–283.
4. Денисюк Ю.Н., Загорская З.А., Пиляк Л.М., Семенов Г.Б., Шарова Л.В. Бихромированная желатина – регистрирующая среда для голографических оптических элементов // ЖНПФИК. 1985. № 6. С. 439–443.