

УДК 535.31; 681.7; 53.082.5

## ГОМОГЕНИЗАТОРЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

В.К. Баля, И.Ю. Денисюк, Е.В. Бараусова

Получены гомогенизаторы лазерного излучения на базе перекрещивающихся микропризменных структур и на базе нерегулярных диффузоров методом лазерной гравировки термочувствительной пленки и последующего наноим-принт-копирования.

**Ключевые слова:** гомогенизатор, лазерная абляция, микропризмы, нерегулярные диффузоры.

## Введение

Гомогенизация лазерного излучения и формирование пучка являются ключевыми технологиями для многих современных приложений. Прежде всего, это те лазерные технологии, у которых изображение образца маски требует равномерного распределения интенсивности излучения по всей площади маски и, следовательно, на всей плоскости обработки. Другие приложения требуют однородной тонкой линии лазера; гомогенизируют только одно направление пучка.

Формирование луча с дифракционными оптическими элементами представляет очень изящный и мощный метод для генерации произвольных моделей облучения. Эти элементы, как правило, рассчитаны на определенную длину волны и фазовую функцию. Для достижения высокой производительности, т.е. однородности луча и эффективности, необходимы многоуровневые элементы. Другая концепция для генерации произвольных моделей облучения использует элементы мультиапертуры, которые делят поступающий луч на ряд элементарных лучей. Элементарные лучи накладываются друг на друга с помощью дополнительного объектива. Преимуществами этих элементов являются независимость от входного профиля интенсивности и широкий спектр длин волн. Хотя периодические структуры создают интерференционные эффекты, особенно с использованием высококогерентного света, тем не менее, успешная гомогенизация с этими элементами может быть достигнута с учетом физической оптики [1] и в некоторых случаях с использованием дополнительных элементов, таких как случайные диффузоры.

## Интегратор Келера

Гомогенизация достигается с помощью интегратора Келера, как показано на рис. 1. Интегратор Келера состоит из двух массивов линз и конденсора, формирующего встречно направленные многократные системы освещения Келера [2]. Первый массив линз ( $LA_1$ ) разделяет падающий свет и создает несколько изображений источников света в плоскости отверстия. Массив линз  $LA_1$  также служит множеством диафрагм поля, определяющих освещенную область в плоскости объекта.

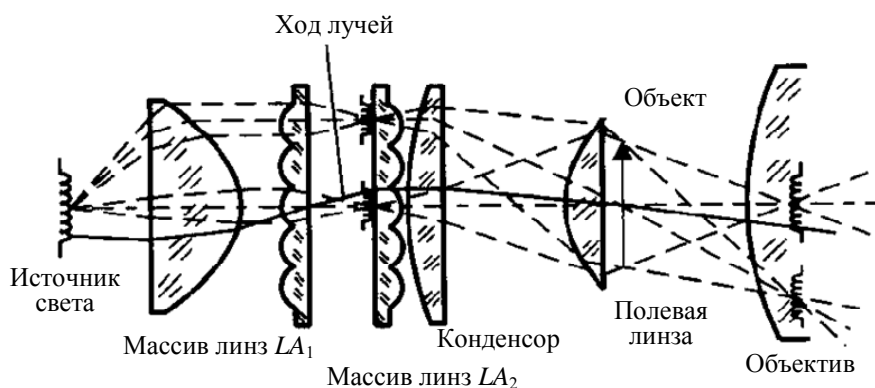


Рис. 1. Интегратор Келера для проецирования изображения

Второй массив линз ( $LA_2$ ) находится в плоскости апертуры и представляет собой множество диафрагм. Линзы массива  $LA_2$  и конденсор создают изображение отдельных диафрагм поля в плоскости объекта. Четкие изображения нити накала появляются в плоскости зрачка объектива. Это обеспечивает равномерное освещение как объекта, так и плоскости изображения. В плоскости объекта реальные изображения первого массива линз  $LA_1$  накладываются. Если предположить, что освещенность в пределах каждого суботверстия  $LA_1$  примерно равномерна или что излучение падающего света является симметрич-

ным, суперпозиция всех изображений обеспечивает равномерное распределение интенсивности в плоскости объекта.

Увеличение числа линз позволяет улучшить однородность распределения интенсивности. Тем не менее, если линзы слишком малы, дифракционные эффекты значительно искажат однородность. Большое количество линз позволит улучшить смешивание света, однако, если линзы становятся малыми, дифракционные эффекты будут искажать однородность.

### **Нерегулярные диффузоры**

Одномерные нерегулярные диффузоры состоят из произвольных и статистически размещенных диффундирующих элементов, как показано на рис. 2. Эти диффузоры представляют собой маску щелей фиксированной ширины, которые статистически расположены на подложке [3]. Такие диффузоры эффективны для улучшения однородности линии. Гомогенизатор и сформированные линии лазерного излучения показаны на рис. 2.



Рис. 2. Схема гомогенизатора (а) и линий лазерного излучения, сформированных интегратором Келера (б) и одномерными нерегулярными диффузорами (в) [1]

### **Условия эксперимента**

Подробно технология лазерной гравировки, которая была использована в настоящей работе, описана в работе авторов [4]. Лазерная гравировка выполнялась с использованием лазерного гравера Laser Graver LG 10F15, обеспечивающего получение структур с разрешением до 2,5 мкм (10160 dpi). Решетки формировались методом обработки черной полимерной или металлизированной пленки при абляции поверхностного слоя лучом непрерывного Nd:YAG-лазера с длиной волны 1,06 мкм. В данной работе эксперименты проводились с использованием полиэфировой пленки с термочувствительным слоем на базе полиметилметакрилата (ПММА) с наночастицами сажи, обеспечивающими поглощение лазерного излучения. Толщина испаряемого слоя 13–15 мкм.

После изготовления заданной структуры она копировалась на акриловую фотоотверждаемую композицию методом наноимпринта. Метод описан в работе авторов [5].

### **Экспериментальные результаты**

**Решетки перекрещивающихся микропризменных структур.** Решетки микропризменных структур, наложенные друг на друга и имеющие соответствующий период, могут быть использованы как элементы, обеспечивающие получение множественных изображений при наблюдении яркого источника через такую прозрачную структуру. На рис. 3 приведена фотография лампочки накаливания, полученная при наблюдении через подобную структуру. В данном случае (рис. 3) приведена фотография, полученная при наблюдении через решетку с углом между микропризменными растрами 90°. При изменении угла и наложении большего числа решеток могут быть получены и другие подобные структуры.

На рис. 4 приведена микрофотография решетки из пересекающихся микропризм. Решетка была получена путем нарезки полимерной пленки на лазерном гравере в двух пересекающихся направлениях. В соответствии с информацией из раздела «Условия эксперимента» эта структура является гомогенизатором лазерного излучения по типу Келера.

**Лазерный генератор линии на базе нерегулярного диффузора.** Рассмотренный элемент формирует пучок в виде узкой линии, в вертикальной плоскости которой высота определяется использованной отрицательной линзой и естественной расходимостью лазерного луча. Длина линии в горизонтальной плоскости определяется углами дифракции решетки и составляет  $\pm 20^\circ$  по полуширине. Элемент универсален и имеет близкие характеристики для зеленого, желтого и красного диапазонов спектра, поскольку подъем интенсивности в области углов  $\pm 20^\circ$  определяется преломлением света на треугольном штрихе.

Недостатком простой конструкции на базе одиночной дифракционной решетки постоянного периода являются четко видимые дифракционные максимумы в линии (рис. 5), что создает значительную неравномерность распределения света по длине линии.

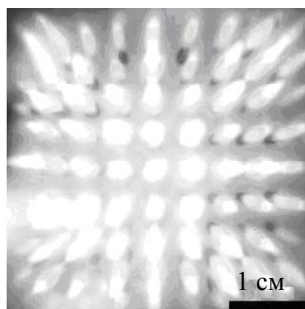


Рис. 3. Фотография лампы накаливания при наблюдении через структуру наложенных решеток микропризм

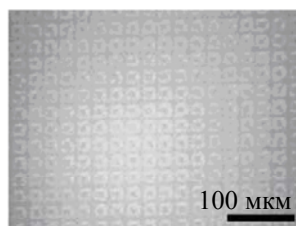


Рис. 4. Микрофотография полимерной структуры решетки

Наличие четких дифракционных порядков является принципиальным недостатком расщепителей, основанных на дифракционных решетках, и может быть преодолено только при изготовлении решетки со сбитым периодом (нерегулярный диффузор). В работе была получена такая решетка с чередованием областей с различным периодом штрихов. Решетка образована периодически повторяющимися элементами, в каждом из которых полоски идут с переменным периодом, например, 10; 12,5; 15 мкм, далее период повторяется. При этом решетка со сбитым периодом по причине непостоянства шага нарезки не дает четко видимых дифракционных порядков, и линия становится более однородной по длине.

На рис. 6 приведена схема дифракционной решетки со сбитым периодом. Параметры штрихов с размерами приведены в таблице. На рис. 6, в, хорошо видны группы штрихов одинакового периода, совокупность которых и образует необходимый оптический элемент.



Рис. 5. Фотография линии, сформированной периодической решеткой

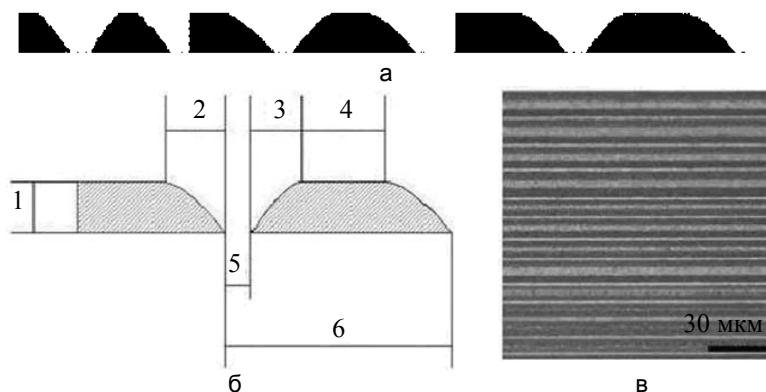


Рис. 6. Схема дифракционной решетки – схема расположения штрихов (а); геометрия одного штриха: 1–6 – параметры штрихов (б); микрофотография решетки (в)

Период полос	1	2	3	4	5	6
10 мкм	3 мкм	2,7 мкм	2,2 мкм	1,5 мкм	1,5 мкм	10 мкм
12,5 мкм	3 мкм	4 мкм	3 мкм	3 мкм	1,5 мкм	12,5 мкм
15 мкм	3 мкм	4 мкм	3 мкм	5 мкм	1,5 мкм	15 мкм

Таблица. Параметры штрихов дифракционной решетки со сбитым периодом

На рис. 7 представлено распределение энергии в линии, сформированной периодической решеткой (рис. 7, а) и решеткой со сбитым периодом (рис. 7, б).

Фотография лазерного генератора линии представлена на рис. 8. Генератор дает узкую линию света с заданными параметрами распределения интенсивности в телесном угле. В соответствии с информацией, указанной выше, эта структура является гомогенизатором лазерного излучения на базе нерегулярных диффузоров.

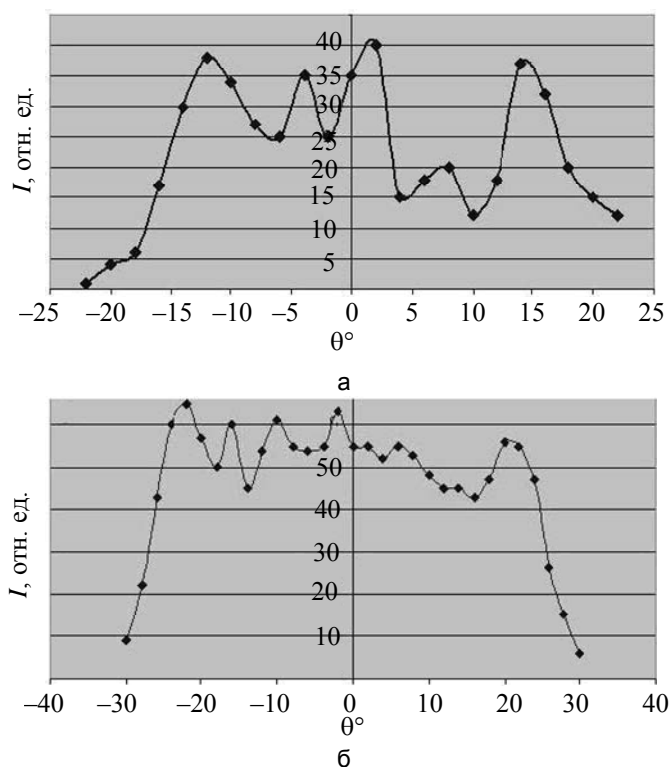


Рис. 7. Распределение энергии в линии, сформированной решетками: с постоянным периодом (а); со сбитым периодом (б)



Рис. 8. Фотография генератора линии, сформированной решеткой со сбитым периодом

### Заключение

Показана возможность изготовления двумерных гомогенизаторов путем нарезки перпендикулярных линий на полимерной пленке.

Изготовлен лазерный генератор линии на базе нерегулярного диффузора методом лазерной гравировки термочувствительной пленки и последующего наноимпринт-копирования. Изготовление несложно, не требует прецизионного оборудования, а тиражирование возможно по методу hot embossing, когда получение элементов с нанометровым разрешением не является обязательным.

### Литература

1. Harder I., Lano M., Lindlein N., Schwider J. Homogenizations and beam shaping with microlens arrays // Photon Management, Proceeding of SPIE. – 2004. – V. 5456. – P. 99–107.
2. Rantsch K., Bertele L., Sauer H., Merz A. Illuminating System. – US Patent 2186123. 1940.
3. Voelkel R., Weible K.J. Laser beam homogenizing: limitations and constraints // Proc. SPIE. – 2008. – V. 7102. – P. 71020J–71020J-12.
4. Баля В.К., Денисюк И.Ю. Формирование микрооптических элементов для защиты с использованием лазерного гравера // Изв. вузов. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 3. – С. 51–56.
5. Арефьева Н.Н., Денисюк И.Ю. Применение метода наноимпринта для единичного копирования полимерной френелевской и микрооптики // Оптический журнал. – 2008. – Т. 75. – № 7. – С. 71–74.

- Баля Вера Константиновна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, Vera\_Balya@mail.ru
- Денисюк Игорь Юрьевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой, denisiuk@mail.ifmo.ru
- Бараусова Екатерина Васильевна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, barausik@yandex.ru