

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейко В. П., Метев С. М. Лазерные технологии в микроэлектронике. София: Изд-во Болгарской АН, 1991.
2. Вейко В. П., Синев Д. А., Шахно Е. А., Полещук А. Г., Саметов А. Р., Седухин А. Г. Исследование особенностей многопучковой лазерной термохимической записи дифракционных микроструктур // Компьютерная оптика. 2012. Т. 36, № 4. С. 562—571.
3. Физико-химические свойства оксидов: Справочник / Под ред. Г. В. Самсонова. М.: Металлургия, 1978.
4. Veiko V. P., Shakhno E. A., Poleshchuk A. G., Korolkov V. P., Matyzhonok V. N. Local laser oxidation of thin metal films: ultra-resolution in theory and in practice // J. of Laser Micro/Nanoengineering. 2008. Vol. 3, N 3. P. 201—205.
5. Либенсон М. Н. Лазерно-индуцированные оптические и термические процессы в конденсированных средах и их взаимное влияние. СПб: Наука, 2007. 423 с.

Сведения об авторах

- Вадим Павлович Вейко** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения; E-mail: veiko@lastech.ifmo.ru
- Елена Аркадьевна Шахно** — д-р техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения; E-mail: elena.shakhno@rbcmail.ru
- Дмитрий Андреевич Синев** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения; E-mail: sinev_dm@mail.ru

Рекомендована кафедрой
лазерных технологий и экологического
приборостроения

Поступила в редакцию
19.09.13 г.

УДК 535.31; 681.7; 53.082.5

В. К. Баля, И. Ю. Денисюк, Е. Б. Шекланова, Н. Д. Ворзобова

**НЕРЕГУЛЯРНАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА
ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ЛИНИИ**

Исследован лазерный генератор линии, основанный на дифракционных решетках со „сбитым“ периодом, изготовленных методом наноимпринт-копирования. Мастер-штамп для копирования изготавливался методом лазерной гравировки термочувствительной пленки. Измерены оптические характеристики полученного дифракционного оптического элемента.

Ключевые слова: ДОЭ, лазерный генератор линии, наноимпринт.

Одна из сложных задач классической оптики — формирование пучков с заданным, не гауссовым распределением энергии в телесном угле, например, в виде линии. Лазерные генераторы линии используются в различных областях техники: для контроля рельсового пути и поверхности обрабатываемых деталей, в посадочных огнях и огнях береговой обстановки. Стандартные методы создания генераторов линии используют цилиндрические линзы и объективы на их основе, однако в этом случае распределение освещенности в линии оказывается гауссовым, что часто не соответствует техническим требованиям к элементу. Асферические линзы позволяют преодолеть проблемы, но их изготовление сложно и затратно.

В последнее время для этой цели применяются дифракционные оптические элементы (ДОЭ). Недостатком такого подхода является требование высокой точности взаимного расположения микроэлементов структуры и прорисовки линий на нанометровом уровне. Это трудно выполнимо, поскольку любой литограф имеет фиксированный размер пиксела и реальный ДОЭ всегда отличается от расчетного. В результате ДОЭ весьма чувствительны к точности изготовления.

С учетом характеристик существующего оборудования и его точности более эффективным решением оказывается создание дифракционных решеток сложного профиля, период которых непостоянен [1]. На рис. 1 представлена картина дифракции (тонкая кривая) на решетке с глубоким штрихом и угловая зависимость интенсивности (жирная).

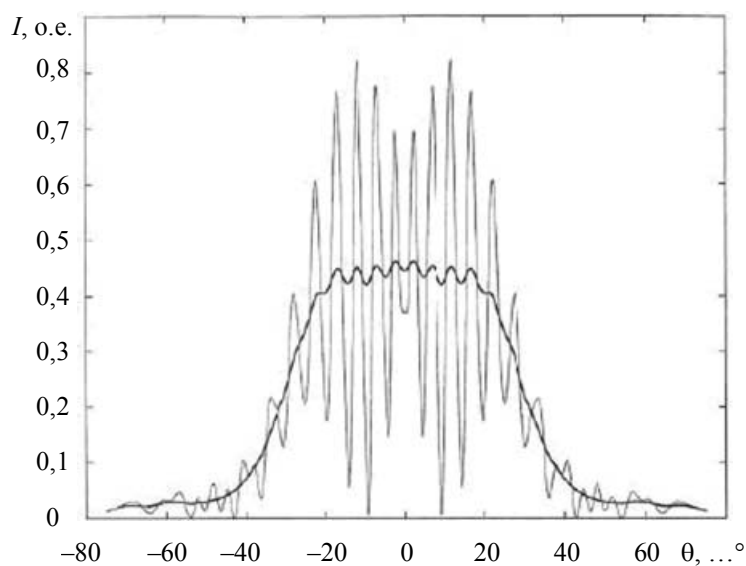


Рис. 1

Как видно из рисунка, благодаря глубине штриха, много большей половины длины волны, интенсивность высших дифракционных порядков возрастает многократно, следовательно, обеспечивается необходимое распределение энергии в линии, отличное от гауссова.

Условия эксперимента. Использованная технология лазерной гравировки подробно описана в статье [2]. Гравировка выполнялась с использованием 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. Эксперименты проводились с использованием полиэфирной пленки с термочувствительным слоем на базе ПММА с наночастицами сажи, обеспечивающими поглощение лазерного излучения. Толщина испаряемого слоя 13—15 мкм.

Изготовленная структура копировалась на акриловую фотоотверждаемую композицию методом наноимпринта [3].

Экспериментальные результаты. Оптическая схема генератора линии, рассматриваемого в настоящей работе, приведена на рис. 2 (1 — лазер, 2 — линза, 3 — ДОЭ, 4 — распределение интенсивности излучения в горизонтальной плоскости в дальней зоне). В схеме использована отрицательная линза, обеспечивающая нужную величину расходимости в вертикальной плоскости, за ней установлена решетка, расширяющая пучок в горизонтальной плоскости, не изменяя ширину индикатрисы в вертикальной плоскости.

В приведенном примере лазерный луч с гауссовым распределением интенсивности и диаметром 1 мм преобразуется в линию шириной 40° в горизонтальной плоскости и 10' в вертикальной.

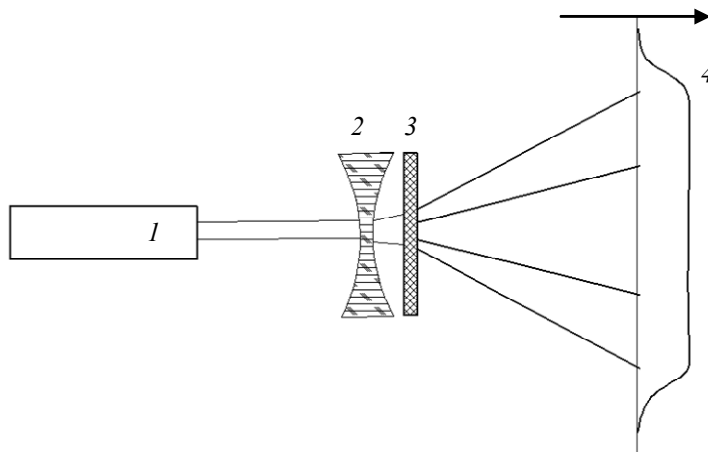


Рис. 2

Рассмотрим подробнее конструкцию ДОЭ. Лазерный луч — монохроматический, следовательно, необходимое расширение пучка может быть выполнено посредством дифракционной решетки, имеющей неравномерное распределение дифракционных порядков, при котором интенсивность высших порядков значительно больше, чем первых и вторых. Требуемое повышение энергии в области высших порядков достигается использованием дифракционной решетки, высота штрихов которой существенно больше половины длины волны, а профиль штриха — треугольный, причем угол треугольника в сечении такой, что преломление света происходит в направлении углов $\pm 20^\circ$.

ДОЭ формирует пучок в виде узкой линии, размер которой по вертикали определяется использованной отрицательной линзой и естественной расходимостью лазерного луча, по горизонтали — углами дифракции решетки и составляет $\pm 20^\circ$ по полуширине в приведенном примере. Элемент универсален и имеет близкие характеристики для зеленого, желтого и красного диапазонов спектра.

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

Наличие четких дифракционных порядков является принципиальным недостатком расщепителей, основанных на дифракционных решетках, преодолеть который можно, изготовив решетки со „сбитым“ периодом. Действительно, если наложить друг на друга дифракционные решетки с различным периодом, можно получить взаимное наложение дифракционных порядков, что приведет к повышению однородности интенсивности в линии. Обычно решетки изготавливают с помощью делительных машин, которые не позволяют задавать переменные периоды, однако в нашем случае применение лазерного гравера с компьютерным управлением позволяет обойти это ограничение и задавать любой период, кратный одному пикселу гравера (2,5 мкм).

В работе получена решетка, образованная повторяющимися элементами, в каждом из которых полоски идут со „сбитым“ периодом, например, 7,5; 10; 12,5; 15 мкм. При этом решетка со „сбитым“ периодом вследствие непостоянства шага не дает четко видимых дифракционных порядков и линия становится более однородной по длине.

На рис. 3, а приведена схема расположения штрихов дифракционной решетки, б — микрофотография решетки. Форма штриха не идеально треугольная вследствие заплывания поверхности при лазерной обработке, что не является недостатком, поскольку возникающее расплывание дифракционных максимумов благоприятно сказывается на однородности формируемой линии.

На рис. 3, б хорошо видны группы штрихов одинакового периода, совокупность которых и образует необходимый оптический элемент. Нерегулярность высоты штриха обусловлена

взаимовлиянием прорезаемых параллельно канавок, когда первая вызывает нагрев окружающей области, а вторая получается шире за счет большей скорости абляции нагретого материала.

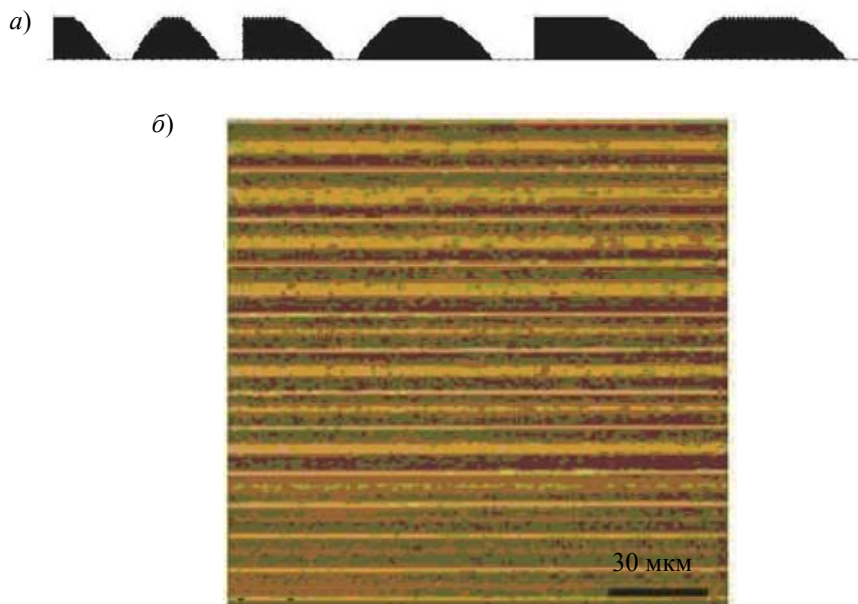


Рис. 3

На рис. 4 представлено распределение энергии в линии, сформированной периодической решеткой (а) и решеткой со „сбитым“ периодом (б). Несмотря на неидеальную форму канавок распределение энергии в линии получено близким к требуемому (рис. 4, б).

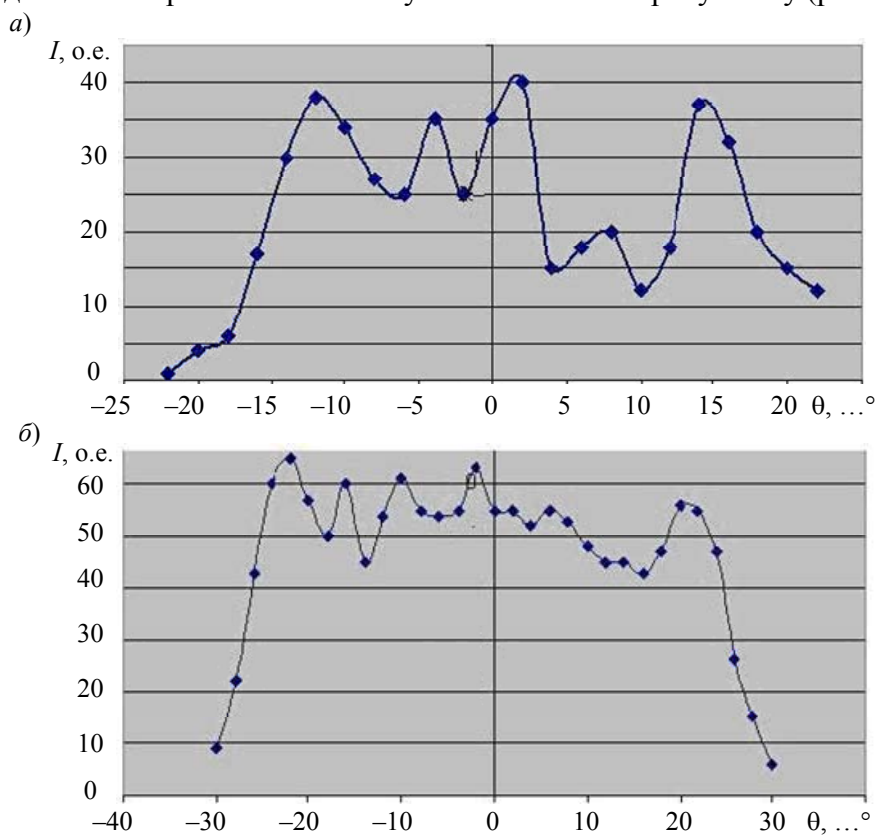


Рис. 4

Линия, формируемая генератором, представлена на рис. 5. Как видно из рисунка, получена тонкая линия света с заданными параметрами распределения интенсивности в телесном угле. Фотометрирование генератора линии на базе красного лазера ($\lambda=635$ нм) дает следую-

щие параметры: сила света в линии шириной $10'$ при мощности 200 мВт — $15\,000$ кД в горизонтальной плоскости, вне линии ($\pm 10'$ от оси) — 900 кД, далее сила света уменьшается на три порядка и определяется величиной светорассеяния в оптических элементах.

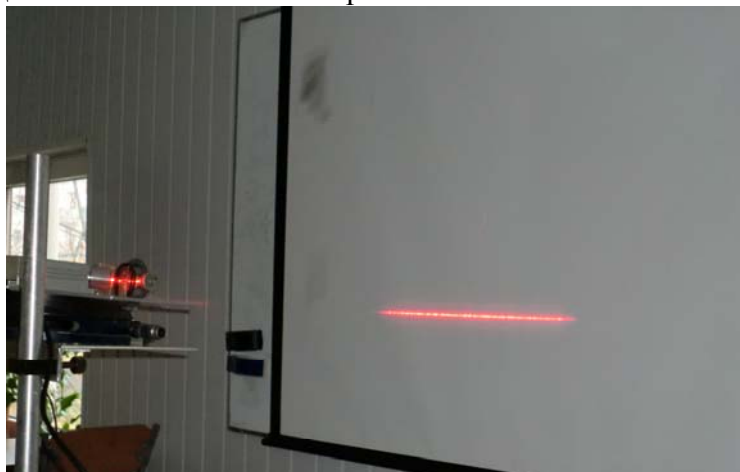


Рис. 5

Выводы. Изготовлен прототип лазерного генератора линии, основанного на дифракционных решетках со „сбитым“ периодом; изготовлен мастер-штамп решетки со „сбитым“ периодом на лазерном гравере, его копия получена методом наноимпринт-копирования. Измерены распределения силы света в линии и показано, что таким способом можно преобразовать пучок лазера с гауссовым распределением в пучок с прямоугольным в сечении распределением силы света. Изготовление решеток со „сбитым“ периодом несложно, не требует прецизионного оборудования, а их тиражирование возможно по методу наноимпринта, когда получение элементов с нанометровым разрешением не является обязательным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lautanen J., Honkanen M., Kettunen V., Kuittinen M., Laakkonen P., Turunen J. Wide-angle far-field line generation with diffractive optics // Optics Communications. 2000. Vol. 176, Is. 4—6. P. 273—280.
2. 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.
3. Арефьева Н. Н., Денисюк И. Ю. Применение метода наноимпринта для единичного копирования полимерной френелевской и микрооптики // Оптический журн. 2008. Т. 75, № 7. С. 71—74.

Сведения об авторах

- Вера Константиновна Баля** — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптики квантоворазмерных систем; инженер-исследователь; E-mail: Vera_Balya@mail.ru
- Игорь Юрьевич Денисюк** — д-р физ.-мат. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; кафедра оптики квантоворазмерных систем; заведующий кафедрой; E-mail: denisiuk@mail.ifmo.ru
- Елизавета Борисовна Шекланова** — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптики квантоворазмерных систем; инженер; E-mail: e.sheklanova@gmail.com
- Надежда Дмитриевна Ворзובה** — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптики квантоворазмерных систем; E-mail: vorzobova@mail.ifmo.ru

Рекомендована кафедрой
оптики квантоворазмерных систем

Поступила в редакцию
30.11.12 г.