

ИЗМЕРЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОЭ ПО МНОГИМ ПОРЯДКАМ ДИФРАКЦИИ

Хомутов В.Н., Полещук А.Г., Черкашин В.В.
Институт Автоматики и Электрометрии СО РАН

Аннотация

Представлены результаты разработки и исследования устройства для измерения дифракционной эффективности дифракционных оптических элементов (ДОЭ) одновременно во многих дифракционных порядках и в большом динамическом диапазоне изменения интенсивности. Рассмотрены два метода расширения динамического диапазона цифровых фотоматриц и их технические реализации.

Ключевые слова: дифракционная оптика, ДОЭ, компьютерная оптика, синтезированные голограммы, измерительная система, обработка изображения.

Введение

Одной из важнейших характеристик дифракционных оптических элементов (ДОЭ) является дифракционная эффективность (ДЭ), которая определяет долю энергии освещающего пучка, направляемого элементом в заданную область пространства [1]. Измерение ДЭ во многих порядках дифракции является критической операцией на всех основных этапах изготовления ДОЭ, так как позволяет оперативно определить глубину и форму рельефа по всей его поверхности [2, 3], отказавшись от использования профилографов или атомно-силовых микроскопов, обеспечивающих лишь локальное измерение параметров структуры. Измерение ДЭ в поляризованном свете позволяет выявить эффекты, возникающие при дифракции света на структурах с размером зон, соизмеримым с длиной волны света [4, 5]. Точное измерение ДЭ в большом динамическом диапазоне особенно необходимо при создании ДОЭ, принцип работы которых основан на управлении интенсивностью дифрагированного оптического излучения, например, дифракционных аттенюаторов [6], или его точном дозировании, например, комбинированных синтезированных голограммах для контроля асферики [7].

ДЭ измеряют с тех пор, как были созданы первые дифракционные элементы. Обычно измерение производят фотоприёмником, который последовательно перемещается по дифракционным порядкам, фиксируя интенсивность дифрагированного светового потока. Несмотря на простоту и большой динамический диапазон, применение этого метода из-за его неоперативности ограничено лабораторией. В более сложных автоматизированных приборах [8] световой поток на выходе ДОЭ сканируется движущейся микродиафрагмой, расположенной перед фотоприёмником. Однако измерить интенсивность светового потока дифракционных порядков (ДП), распространяющихся под большими углами, таким прибором нельзя. В научных экспериментах для анализа распределения интенсивности дифрагированного излучения часто используются светочувствительные матрицы (видеокамеры) [9]. Это позволяет легко выявить особенности распределения и его

модового состава. Поэтому достаточно очевидным решением в данном случае является применение видеокамеры для одновременного измерения интенсивности множества ДП на выходе ДОЭ, что позволит отказаться от механических схем сканирования. Однако установка матрицы непосредственно за исследуемым ДОЭ практически невозможна. Это связано с появлением паразитных бликов и засветки в пространстве (требуется не более 1 - 2 мм) между дифракционной структурой и защитным стеклом матрицы (которое также вносит искажения). Кроме того, для количественных измерений матрица видеокамеры нуждается в калибровке.

В настоящей работе представлены результаты разработки и исследования автоматизированного устройства для измерения ДЭ – оптического дифрактометра [10] на основе видеокамеры. Основное внимание было уделено вопросам калибровки чувствительности и динамического диапазона видеокамеры.

1. Система измерения ДЭ

Оптическая схема устройства для измерения ДЭ показана на рис. 1. В основе измерительной системы лежит сканирующий метод измерения. Согласно данному методу рабочая поверхность ДОЭ условно разбивается на N локальных площадок s_i , размеры которых определяются размерами светового пятна, последовательного сканирующего поверхность контролируемого элемента. При освещении локального участка свет дифрагирует на его микроструктуре. Интенсивность I_{out} измеряется и нормируется на текущее значение интенсивности падающего света I_{in} и пропускание подложки T_{Sub} . В результате нормировки получают значение ДЭ в локальной измеренной площадке ДОЭ: $\eta_i = I_{out} / T_{Sub} I_{in}$, поскольку величина $T_{Sub} I_{in}$ равна интенсивности света, прошедшего через элемент. Сопоставив значения η_i с координатами площадок, можно получить распределение ДЭ по всей площади ДОЭ.

Устройство работает следующим образом: сканирующий пучок света, генерируемый лазерным модулем 1 (могут использоваться полупроводниковые лазерные модули с длиной волны от 405 до 850 нм, монохроматор или любые другие типы лазе-

ров), фокусируется объективом 4 на поверхность исследуемого ДОЭ 5, образуя световое пятно s_i . Дифрагированный свет попадает на матовый экран 7, откуда с помощью объектива 9 проецируется на матрицу цифровой видеокамеры 10. Использование матового экрана позволяет расширить возможную рабочую область и производить измерение сразу в нескольких ДП. Такое решение позволяет исключить наложение ДП друг на друга и уменьшить влияние защитного стекла видеокамеры. Сканирование поверхности происходит за счёт перемещения ДОЭ относительно лазерного пучка. Перемещение осуществляется с помощью двухкоординатного устройства позиционирования по заданной траектории с заданным шагом. В каждой точке траектории камера осуществляет захват и передачу изображения управляющему компьютеру, который производит анализ изображений, рассчитывает значения ДЭ для каждого дифракционного порядка каждой точки траектории и представляет результаты измерения в удобном для пользователя виде.

Часть сканирующего излучения с помощью светоделителя 2 (рис. 1) направляется к фотоприёмнику 3, сигнал которого оцифровывается и передаётся управляющему компьютеру. Это необходимо для обеспечения контроля флуктуации мощности лазерного модуля 1, управление которым также осуществляется компьютером. Фазовая пластинка 11 вводится для вращения плоскости поляризации, когда необходимо исследовать влияние поляризации излучения на ДЭ ДОЭ.

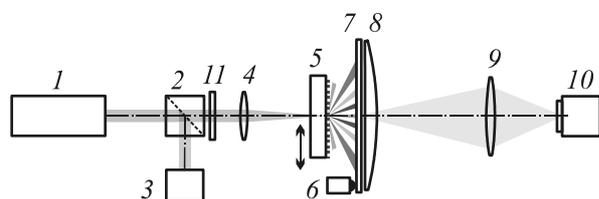


Рис. 1. Оптическая схема устройства для измерения: ДЭ – лазерный модуль, 2 – светоделитель, 3 – фотоприёмник, 4 – фокусирующая линза, 5 – исследуемый ДОЭ, 6 – модуль оптической калибровки, 7 – матовый экран, 8 – коллективная линза, 9 – объектив, 10 – цифровая камера, 11 – фазовая пластинка

Коллективная линза 8 в оптической схеме измерительной системы необходима для корректировки диаграммы направленности дифрагированного света.

Устройство для измерения ДЭ с обычной 8-битной видеокамерой позволяет измерять распределение ДЭ во всех видимых ДП по всей площади ДОЭ с размерами $100 \times 100 \text{ мм}^2$ в динамическом диапазоне (ДД) изменения интенсивности 255 градаций. Такой диапазон обусловлен типом используемой видеокамеры, и его, как правило, недостаточно для точного измерения ДЭ. Для расширения ДД необходимо использовать дорогие 12-14-битные видеокамеры или специальные методы, описанные в разделе 2. Следует отметить, что применение видеокамер с ДД более 10 бит не всегда оправдано, так как из-за низкой

скорости смены кадров время измерения ДЭ будет слишком большим.

Существуют ограничения на типы ДОЭ, параметры которых можно измерять данным устройством. Так как сканирование исследуемого образца производится сфокусированным пучком света (диаметр пятна около 0,15 - 0,25 мм), характерный период дифракционной структуры должен быть в несколько раз меньше размеров этого пучка и аппроксимироваться дифракционной решёткой. Таким образом, измерение параметров ДОЭ типа зонных пластинок будет затруднено в области центра, где период очень большой. Кроме того, из-за больших углов дифракции измерение параметров ДОЭ с периодом порядка длины волны возможно только для нулевого порядка дифракции.

2. Методы расширения динамического диапазона

Известно несколько методов расширения ДД видеокамер. В основе большинства этих методов лежит использование нелинейных фильтров и WDR [11] или их комбинация. В данной работе были разработаны и исследованы два метода расширения ДД видеокамеры применительно к задаче измерения ДЭ.

2.1. Метод пространственной калибровки

Для реализации этого метода в устройства для измерения ДЭ вводится дополнительный элемент – модуль оптической калибровки 6 (рис. 1). Структурная схема электронной системы устройства показана на рис. 2.

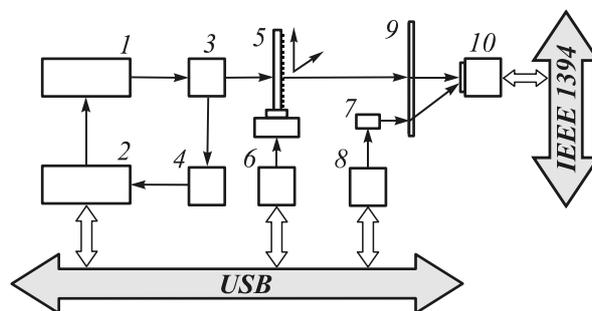


Рис. 2. Структурная схема устройства для измерения ДЭ с пространственной калибровкой.

1 – лазерный модуль, 2 – модуль АЦП/ЦАП, 3 – светоделитель, 4 – фотоприёмник, 5 – двухкоординатное устройство позиционирования, 6 – контроллер шаговых двигателей, 7 – модуль оптической калибровки, 8 – драйвер светодиодов, 9 – матовый экран, 10 – цифровая камера

Модуль оптической калибровки 7 (рис. 2) представляет собой линейку светодиодов с регулируемой мощностью излучения. Модуль устанавливается в систему перед матовым экраном так, чтобы излучение светодиодов попадало на экран, образуя тем самым нормировочную шкалу для видеокамеры. Интенсивность излучения светодиодов задаётся через драйвер 8 и USB-интерфейс с помощью управляющего программного обеспечения (ПО) перед проведением измерений.

Расширение ДД достигается за счёт регистрации интенсивности каждого ДП при различных временах экспозиции (времени накопления) видеокамеры, т.е. при разных чувствительностях, как схематически показано на рис. 3. Время экспозиции устанавливается от управляющего компьютера по следующему алгоритму: если при анализе кадра обнаружено насыщение (интенсивность светового пятна превышает ДД видеокамеры), например, кривая 3 на рис. 3а, то время экспозиции следующего кадра уменьшается в несколько раз и производится повторная съёмка (до тех пор, пока насыщение исчезнет – кривая 3 на рис. 3б). Для измерения интенсивности ДП, находящихся в области шума (например, кривая 1 на рис. 3б), время экспозиции соответственно увеличивается.

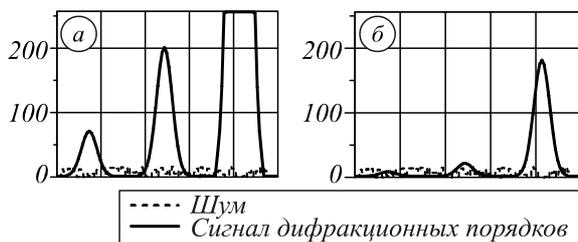


Рис. 3. Сигналы видеокамеры при различном времени экспозиции: время экспозиции t (а), время экспозиции $t/10$ (б)

Другими словами, время экспозиции увеличивается для измерения ДП с малой интенсивностью и уменьшается для измерения ДП с большой интенсивностью. Зарегистрированные видеокамерой значения интенсивности ДП при обработке изображений интерполируются по известным значениям интенсивности светодиодов модуля оптической калибровки.

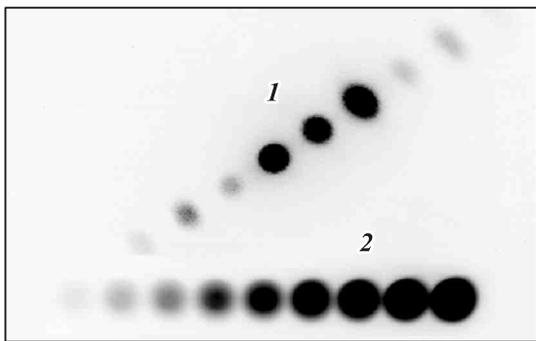


Рис. 4. Изображение с видеокамеры (негативное представление) с применением метода пространственной калибровки: 1 – дифракционные порядки, 2 – светодиоды модуля калибровки

На рис. 4. представлен пример кадра изображения с видеокамеры во время проведения измерения. На этом рисунке группа пятен 1 соответствует дифракционным порядкам исследуемого ДОО, группа пятен 2 – калибровочным светодиодам. По изображению можно судить, что 0 и ± 1 ДП (группа 1) в данный момент превышают ДД видеокамеры, остальные же порядки находятся в области шума. По-

этому для точного определения интенсивности всех видимых ДП необходимо зарегистрировать этот кадр несколько раз с различными значениями времени экспозиции. С использованием этого метода для 8-битной видеокамеры экспериментально было получено расширение ДД в 8...12 раз. Т.е. ДД соответствовал 11-битной видеокамере.

После выполнения измерений всего ДОО измерительная система производит обработку полученных изображений. На этом этапе выполняется коррекция изображений с учётом параметров видеокамеры (компенсация темнового тока, неравномерность светочувствительности) и интерполяция результатов по значениям интенсивности светодиодов блока опорного излучения.

Однако данный метод обладает также рядом недостатков, которые могут создавать неудобства при проведении измерений:

- нелинейная зависимость выходного сигнала видеокамеры от времени экспозиции, т.е. необходима таблица значений;
- калибровочные светодиоды не обладают высокой временной стабильностью, следовательно, необходимо проводить их калибровку эталонным измерителем интенсивности излучения;
- наличие модуля оптической калибровки приводит к дополнительной паразитной засветке матрицы видеокамеры, что вносит ошибки в измерение;
- модуль оптической калибровки занимает рабочую площадь матового экрана (группа пятен 2 на рис. 4), что сокращает число регистрируемых ДП.

2.2. Метод временной калибровки

Метод временной калибровки основан на периодическом изменении интенсивности излучения лазера, который используется для сканирования ДОО. Изменение интенсивности излучения лазерного модуля производится в том случае, когда управляющий компьютер регистрирует или слишком низкий, или слишком высокий (насыщение) уровень сигнала с матрицы видеокамеры. При этом время экспозиции видеокамеры остаётся постоянным. Структурная схема измерительной системы с временной калибровкой показана на рис. 5.

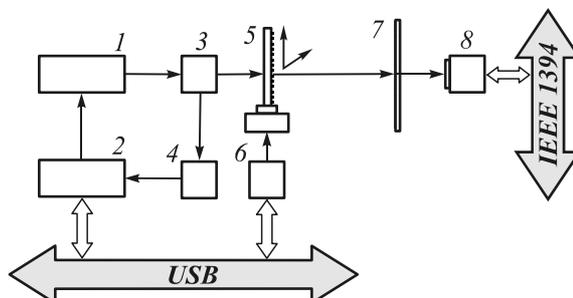


Рис. 5. Структурная схема измерительной системы с временной калибровкой. 1 – лазерный модуль, 2 – модуль АЦП/ЦАП, 3 – светоделитель, 4 – фотоприёмник, 5 – двухкоординатное устройство позиционирования, 6 – контроллер шаговых двигателей, 7 – матовый экран, 8 – цифровая камера

В этом варианте устройства используется лазерный модуль 1, интенсивность излучения которого управляется напряжением. Часть выходного излучения лазера 1 направляется светоделителем 3 к фотоприёмнику 4. Напряжение с выхода фотоприёмника регистрируется управляющим компьютером, который также регистрирует сигнал с видеокамеры. В соответствии с описанным выше алгоритмом управляющий компьютер вырабатывает сигнал на уменьшение или увеличение интенсивности излучения лазерного модуля.

На рис. 6 приведён пример регистрации интенсивности ДП двумерной решётки за три последовательных видеокadra при различной интенсивности излучения лазера.

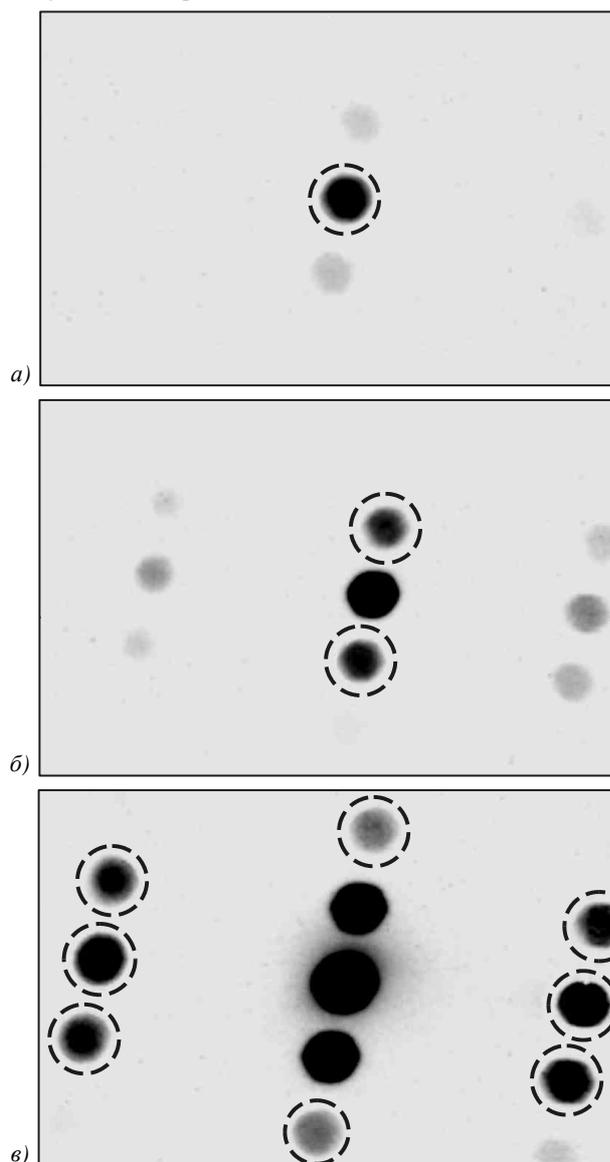


Рис. 6. Кадры дифракционной картины (негативное представление), сделанные камерой для различных значений мощности излучения лазерного модуля.

a – 0,2 мВт, *б* – 0,8 мВт, *в* – 1,9 мВт.

Пунктиром показаны порядки, попадающие в динамический диапазон камеры

Штрихами отмечена область регистрации интенсивности. Вначале (рис. 6*а*) регистрируется интенсивность нулевого ДП, так как интенсивность других порядков мала. Далее интенсивность излучения лазера увеличивается в 4 раза и регистрируются боковые ДП (рис. 6*б*), в то время как нулевой ДП уже находится в области насыщения. На следующем шаге (рис. 6*в*) интенсивность излучения лазера снова увеличивается (в данном примере в 2 раза) и производится регистрация интенсивности остальных ДП. Так как время, необходимое для изменения интенсивности лазерного излучения, достаточно мало (менее 1 мс), регистрация кадров может осуществляться с максимальной скоростью смены кадров (60 - 100 кадров/с).

Использование этого метода позволяет использовать всю площадь матового экрана, не добавляет в результаты измерений ошибок, связанных с засветкой экрана светодиодами, нет необходимости в учёте нелинейностей, связанных с изменением времени экспозиции видеокамеры.

3. Экспериментальные результаты

Были исследованы две конфигурации измерительной системы (рис. 2 и 5), в которой использовалась IEEE1394 (FireWare) видеокамера Marlin F-131B с разрешением 1280×1024 и размером CMOS-матрицы 2/3" дюйма. Управление светодиодами и лазерным модулем осуществлялось контроллером, управляемым по интерфейсу USB. Перемещение ДОЭ по двум координатам (диапазон 100×100 мм) осуществлялось моторизованными столами 8MT177-100 (STANDA). Для фокусировки излучения лазерного модуля на поверхность ДОЭ использовалась линза с фокусным расстоянием 200 мм. Размер матового экрана – 90×120 мм.

Оба варианта измерительной системы были исследованы на примере измерения ДЭ аттенюаторов [6], представляющих собой кварцевую пластинку диаметром 60 мм, толщиной 2,7 мм, на одну из сторон которой нанесена рельефная дифракционная решётка с переменной скважностью и периодом в 2 мкм и 6 мкм, соответственно, в радиальном и угловом направлениях.

Сканирование ДОЭ осуществлялось по окружности на радиусах $r = 20$ мм, $r = 22$ мм, $r = 24$ мм и длине волны излучения лазерного модуля $\lambda = 635$ нм. Количество точек для измерения вдоль окружности $N = 100$. Измерения ДЭ проводились для нулевого порядка дифракции, поскольку для данного типа ДОЭ нулевой ДП является рабочим. Примеры регистрации ДП от двумерной фазовой решётки аттенюаторов приведены на рис. 4 и 6.

Перед проведением измерений методом пространственной калибровки осуществлялось измерение интенсивности излучения каждого светодиода независимым измерителем мощности. Полученные значения вносились в базу данных управляющего компьютера. Время сканирования и измерения ДЭ

ДОЭ не превышало 3 минут. На рис. 7 приведён пример измерения – распределение ДЭ в нулевом ДП по поверхности дифракционного аттенюатора, представленный в виде трёхмерной карты.

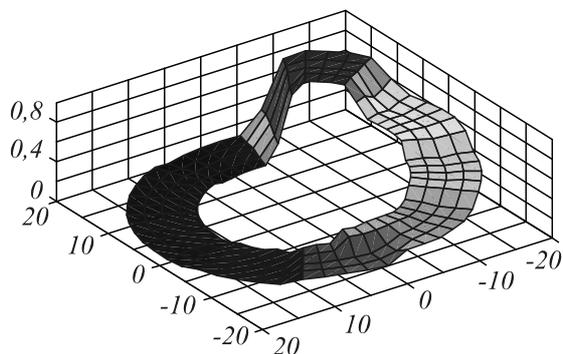


Рис. 7. Пример трёхмерного представления распределения ДЭ

На рис. 8. показаны зависимости пропускания аттенюатора от угла поворота для радиусов $r=20$ мм, 22 мм и 24 мм. Из полученных графиков видно, что характерная картина распределения ДЭ по секторам оптического аттенюатора сохраняется на всех радиусах. Флуктуации ДЭ внутри секторов объясняются интерференцией лазерного пучка в подложке данного экземпляра аттенюатора.



Рис. 8. Зависимости дифракционной эффективности аттенюатора от угла поворота (метод пространственной калибровки)

При проведении измерений *методом временной калибровки* параметр времени экспозиции видеокамеры был выбран равным 20 мс, что обеспечивало отсутствие насыщения при интенсивности излучения лазерного модуля около 1% от максимальной.

Для устранения нелинейности гамма-характеристики видеокамеры и узла управления лазерным модулем была получена таблица соответствия видеосигнала и абсолютной величины интенсивности излучения в регистрируемом ДП. Пример этой зависимости показан на рис. 9.

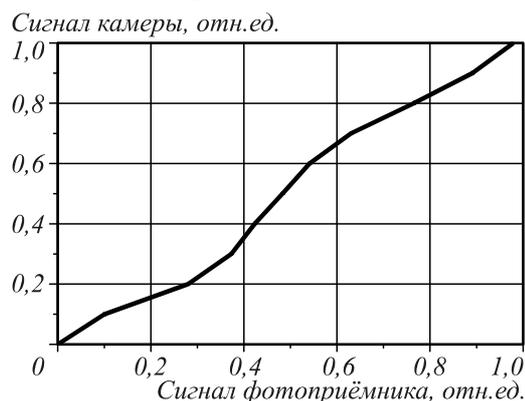


Рис. 9. Таблица соответствия видеосигнала и интенсивности излучения



Рис. 10. Зависимости дифракционной эффективности аттенюатора от угла поворота (метод временной калибровки)

На рис. 10. приведены зависимости пропускания аттенуатора от угла поворота для радиусов $r=20$ мм, 22 мм и 24 мм. Из полученных графиков видно, что картина распределения ДЭ по секторам дифракционного аттенуатора примерно такая же, как при измерении методом пространственной калибровки.

Заключение

Разработаны и экспериментально проверены два варианта устройства для измерения ДЭ ДОЭ, выполненные на основе цифровой видеокамеры. Устройство позволяет получить карту распределения ДЭ по многим ДП по всей поверхности ДОЭ.

Устройство обладает высокой скоростью сканирования и управляется от компьютера. Динамический диапазон измерения достигает 10-11 бит при использовании простой 8-битной видеокамеры. Сравнительное исследование показало, что вариант устройства с временной калибровкой видеокамеры является более предпочтительным.

Данная работа была выполнена в рамках комплексного интеграционного проекта № 54 СО РАН.

Литература

1. Методы компьютерной оптики / под ред. В.А. Соифера. – 2 изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 312 с.
2. **Волков, А.В.** Контроль параметров микрорельефа ДОЭ с использованием тестовых дифракционных структур / А.В. Волков // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-тех. науки. – 2001. – № 12. – С. 179-185. – ISSN 1991-8615.
3. **Golub, M.A.** Optical performance evaluation from microrelief profile scans of diffractive optical elements / M.A. Golub // International meeting: Diffractive Optics and Micro-Optics, DOMO 2000. – 2000. – Vol. 1. – P. 110-112.
4. **Fratz, M.** Design and fabrication of polarization-holographic elements for laser beam shaping / M. Fratz, S. Sinzinger, D. Giel // Appl. Opt. – 2009. – Vol. 48. – P. 2669-2677. – ISSN 1539-4522.
5. **Kauffmann, J.** Polarisation Measurements on Diffractometry for optical Nanostructures / J. Kauffmann, J. Bader [et al.] // Nanofair 2005 New Ideas for Industry, Dresden: VDI-Bericht 1920. – 2005. – ISBN 3-18-091920-5.
6. **Poleshchuk, A.G.** Diffractive variable attenuator for femtosecond laser radiation control / A.G. Poleshchuk, R.K. Nasyrov, V.V. Cherkashin, M.V. Dubov, V.M. Mezentsev, I. Bennion // Appl. Opt. – 2009. – Vol. 48. – P. 708-711. – ISSN 1539-4522.
7. Combined computer-generated hologram for testing steep aspheric surfaces / A.G. Poleshchuk, R.K. Nasyrov, J.-M. Asfour // Optics Express. – 2009. – Vol. 17, N 7. – P. 5420-5425. – ISSN 1094-4087.
8. **Кирьянов, В.П.** Измерение эффективности дифракционных оптических элементов методом сканирования /

- В.П. Кирьянов, В.Г. Никитин // Автометрия. – 2004. – Т. 40, № 5. – С. 82-93. – ISSN 0320-7102.
9. **Котляр, В.В.** Измерение орбитального углового момента светового поля с помощью дифракционного оптического элемента / В.В. Котляр, С.Н. Хонина, В.А. Соифер, Я. Янг // Автометрия. – 2002. – Т. 38, № 3. – С. 33-44. – ISSN 0320-7102.
10. **Хомутов, В.Н.** Измерения дифракционной эффективности голограмм по многим порядкам дифракции / В.Н. Хомутов, А.Г. Полещук, В.В. Черкашин // Труды 7-ой Международной Конференции ГОЛОЭКСПО-2010, 2010. – С. 209-214.

References

1. Methods of Computer Optics (Secondary Edition) / edited by V.A. Soifer. – Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2003. – 312 p. – (in Russian).
2. **Volokov, A.V.** Control of parameters of a microrelief of DOE with use of test diffraction structures / A.V. Volokov // The bulletin of Samara State Aerospace University. – 2001. – N 12. – P. 179-184. – ISSN 1991-8615. – (in Russian).
3. **Golub, M.A.** Optical performance evaluation from microrelief profile scans of diffractive optical elements / M.A. Golub // International meeting: Diffractive Optics and Micro-Optics, DOMO 2000. – 2000. – Vol. 1. – P. 110-112.
4. **Fratz, M.** Design and fabrication of polarization-holographic elements for laser beam shaping / M. Fratz, S. Sinzinger, D. Giel // Appl. Opt. – 2009. – Vol. 48. – P. 2669-2677. – ISSN 1539-4522.
5. **Kauffmann, J.** Polarisation Measurements on Diffractometry for optical Nanostructures / J. Kauffmann, J. Bader [et al.] // Nanofair 2005 New Ideas for Industry, Dresden: VDI-Bericht 1920, 2005. – ISBN 3-18-091920-5.
6. **Poleshchuk, A.G.** Diffractive variable attenuator for femtosecond laser radiation control / A.G. Poleshchuk, R.K. Nasyrov, V.V. Cherkashin, M.V. Dubov, V.M. Mezentsev, I. Bennion // Appl. Opt. – 2009. – Vol. 48. – P. 708-711. – ISSN 1539-4522.
7. Combined computer-generated hologram for testing steep aspheric surfaces / A.G. Poleshchuk, R.K. Nasyrov, J.-M. Asfour // Optics Express. – 2009. – Vol. 17, N 7. – P. 5420-5425. – ISSN 1094-4087.
8. **Kirjanov, V.P.** Measurement of efficiency of diffraction optical elements by a scanning method / V.P. Kirjanov, V. G. Nikitin // Autometry. – 2004. – Vol. 40, N 5. – P. 82-93. – ISSN 0320-7102. – (in Russian).
9. **Kotlyar, V.V.** Measurement of the orbital angular moment of a light field by means of a diffraction optical element / V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, V.A. Soyfer, J. Jang // Autometry. – 2002. – Vol. 3, N 38. – P. 33-44. – ISSN 0320-7102. – (in Russian).
10. **Khomutov, V.N.** Measurements of diffraction efficiency of holograms on many order of diffraction / V.N. Khomutov, A.G. Poleshchuk, V.V. Cherkashin // Works of The 7-th International Conference HOLOEKSP-2010, 2010. – P. 209-214. – (in Russian).

MEASUREMENT OF DIFFRACTION EFFICIENCY OF DOE IN MANY DIFFRACTIVE ORDERS

V.N. Khomutov, A.G. Poleshchuk, V.V. Cherkashin

Institute of Automation & Electrometry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

Abstract

Results of research and development of the device for measurement of diffraction efficiency of diffraction optical elements (DOE) simultaneously in many diffraction orders and in the large dynamic range are presented. Two methods of a dynamic range of digital video camera increasing and their technical implementations are considered.

Key words: Diffractive optics, DOE, computer optics, computer generated holograms, measuring system, image processing.

Сведения об авторах



Полещук Александр Григорьевич, доктор технических наук, работает в ИАиЭ СО РАН с 1973 года, кандидат наук с 1980 года, доктор технических наук с 2003 года. В 1997 был избран на должность заведующего лабораторией лазерных технологий, затем лабораторией дифракционной оптики. Полещук А.Г. является автором более 200 научных работ, опубликованных в отечественных и зарубежных журналах и сборниках, в том числе 1 монографии и более 30 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Область научных интересов: компьютерная оптика, лазерная интерферометрия, лазерные технологии.

E-mail: poleshchuk@iae.nsk.su.

Alexander Grigorievich Poleshchuk, Dr.Sci.Tech., Since 1973 Currently he works in Institute of Automation & Electrometry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IAE SB RAS). He received his Candidate of since (1980) and Doctor in technical since (2003) degrees from IAE SB RAS. Has been selected on a post of the head of Diffractive Optics laboratory at IAE SB RAS. He is co-author of more than 200 scientific papers, 1 monographs, and more than 30 inventions and patents. His research interests are computer optics, laser interferometry, laser technology.



Хомутов Владимир Николаевич, 1987 года рождения. В 2010 году окончил Новосибирский государственный технический университет (НЭТИ) по специальности «Физика оптических явлений». С 2010 года аспирант Института автоматизации и электрометрии (ИАиЭ СО РАН). Работает инженером-программистом в лаборатории дифракционной оптики ИАиЭ СО РАН. Область научных интересов: компьютерная оптика, электроника, цифровая измерительная техника.

E-mail: v.n.khomutov@gmail.com.

Vladimir Nikolayevich Khomutov, (b. 1987) graduated from Novosibirsk State Technical University in 2010, majoring in Physics of Optical Phenomena. Since 2010 he is post-graduate student of Institute of Automation & Electrometry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. Currently he works as the engineer-programmer at the Diffractive Optics laboratory of Institute of Automation & Electrometry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. His Research interests are computer optics, electronics, and digital measurement technics.



Черкашин Вадим Владимирович, 1969 года рождения. В 1991 году окончил Новосибирский государственный университет по специальности «Автоматизация физико-технических исследований». Работает научным сотрудником в лаборатории дифракционной оптики Института автоматизации и электрометрии СО РАН. Область научных интересов: компьютерная оптика, программирование, автоматизация измерений.

E-mail: vadimch@gorodok.net.

Vadim Vladimirovich Cherkashin, (b. 1969) graduate from Novosibirsk State University in 1991, majoring in autoimmunization of physical-engineering researching. Currently works as the research assistant at the Diffractive Optics laboratory of Institute of Automation & Electrometry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. His Research interests are computer optics, programming & Automation of measurements.

Поступила в редакцию 3 апреля 2011 г.