

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ОПТИКЕ

ВВЕДЕНИЕ

Программное обеспечение "QUICK-DOE" (ПО) предназначено для расчета масок элементов компьютерной оптики (ЭКО) [1] -дифракционных оптических элементов (ДОЭ) и цифровых голограмм, проведения вычислительных экспериментов с ЭКО и выполнения ряда вспомогательных функций. В частности, к вспомогательным функциям относятся преобразование форматов файлов, визуализация маски файла, выполнение быстрого преобразования Фурье (БПФ), описание и подготовка составного изображения для вывода на фотоплоттер. ПО предназначено для использования физиками-оптиками, проектировщиками дифракционной оптики и программистами, разрабатывающими программы расчета элементов компьютерной оптики.

Настоящее ПО содержит программы расчета следующих аналитически описанных ДОЭ:

- различные варианты линз (радиальная, бифокальная, многофокусная, цилиндрическая, скрещенные цилиндрические, с повышенной глубиной фокуса) [2-4];
- фокусаторы (в кольцо, в крест, в контур квадрата, в отрезок в фокальной плоскости, в прямоугольную область) [4-8];
- преобразователи сферического волнового фронта в волновой фронт, соответствующий поверхности вращения второго порядка (включая параболоид, эллипсоид и гиперболоид) [9];
- оптические фильтры (фильтр, согласованный с базисными функциями Карунена-Лоева, фильтр Винера, регуляризованный фильтр Тихонова) [1,10,11];
- ЭКО, согласованные с модами когерентного излучения (моданы) (моды Гаусса-Эрмита и Гаусса-Лагерра) [12].

Список рассчитываемых оптических элементов может быть дополнен пользовательскими ЭКО. Предлагается несложный метод включения новых оптических элементов. Для введения нового элемента необходимо отредактировать программу проведения диалога для ввода требуемых параметров и написать программу расчета значения функции пропускания (фазовой или амплитудной) в точке.

ПО содержит различные варианты кодирования фазы и амплитуды:

- кодирование фазы приведением по модулю 2π ,
- кодирование из фазы в амплитуду с наложением несущей частоты,
- кодирование из амплитуды в фазу со значениями $\{0, \pi\}$,
- кодирование из амплитуды в фазу с наложением несущей частоты методом Кирка-Джонса,

- кодирование комплексной функции пропускания методами Кирка-Джонса, Ломана, Ли, Бэрхардта,
- кодирование из амплитуды в амплитуду с наложением несущей частоты,
- преобразование амплитуды в интенсивность.

Для моделирования работы ЭКО в ПО имеются как адаптированный геометрооптический метод [13], так и дифракционный метод расчета, основанный на БПФ [14].

Все преобразования могут быть выполнены не только для существующих элементов, но и для элементов, включенных позже пользователем.

При расчете элемента могут быть получены полутоновые или бинарные маски. Маска может быть записана в файл в следующих вариантах:

- каждый отсчет как действительное число, тип "float";
- байт на отсчет, тип "bit8";
- бит на отсчет (только для бинарных масок) , тип "bit1" .

Если нужен набор из нескольких бинарных масок (2 - 4), то можно рассчитать их последовательно или записать полутоновую маску в файл и затем получить все требуемые бинарные маски, используя соответствующее преобразование.

При расчете маски ЭКО и изменении формата файла, содержащего маску ЭКО, выполняется синхронная визуализация.

При работе ПО поддерживается внутренний растрового типа формат файлов "PIC", записанный построчно с комментариями, содержащимися в заголовке и в окончании файла. Для стыковки с другим ПО есть перекодировщики в TIFF-формат байт/отсчет и обратно, и в поле байт/отсчет с построчной организацией.

Для облегчения работы пользователя с программным обеспечением имеется удобная оболочка.

1. ОПИСАНИЕ ОБОЛОЧКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Оболочка предназначена для облегчения работы с ПО конечному пользователю. В нее входят многоуровневое меню, окно ввода параметров, окно для визуализации маски, информационное окно, окно сообщения. Кроме того, в программах БПФ, геометрооптического моделирования и преобразования файлов на экран выводится таймер. Каждый уровень меню - это подменю, состоящее из клавиш. Клавиши располагаются горизонтально или вертикально. Текущая клавиша помечается цветом. Для перемещения по меню используются стрелки и ESQ (для отмены текущего уровня). Для активизации клавиши вертикального подменю используется ENTER, для горизонтального - ENTER и стрелка DOWN. Допускается работа с мышкой (для активизации клавиши указать на нее мышкой и нажать левую кнопку). При активизации клавиш нижнего уровня запускаются программы обработки выбранного режима работы.

Если для обработки требуется ввод параметров, то появляется окно ввода параметров. Оно содержит наименование функции (при задании ЭКО - наименование элемента), несколько строк параметров и клавишу ввода параметров. Для отказа от ввода параметров используется ESQ. Для ввода списка параметров в программу используется клавиша ввода параметров окна, расположенная под строками параметров. Перемещение внут-

ри окна параметров выполняется с помощью стрелок и ENTER. Текущий параметр помечается цветом. Строка параметра содержит наименование параметра и предлагаемое значение. Если значение не устраивает пользователя, оно должно быть отредактировано.

Информационное окно используется для вывода информации пользователю, например, о параметрах проектируемого ЭКО.

Графическое окно используется для вывода маски отдельно или в процессе исполнения программы расчета ЭКО. Если маска выводится на экран во время записи в файл, то вывод маски в графическое окно выполняется параллельно. При наличии графического окна поддерживаются 3 палитры: полутоновая серая, полутоновая негативная серая и палитра псевдоцветов. Для прерывания работы используется ESC (с подтверждением).

Окно сообщения используется для извещения пользователя о какой-либо особой ситуации. Обработка останавливается до нажатия любой клавиши. Внешне окно сообщения выглядит как большая клавиша посередине экрана, содержащая лишь одну строку текста. Окно сообщения используется также для подтверждения какого-либо действия (например выход из программы или прерывание процесса расчета маски).

2 РАБОТА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

При запуске ПО появляется головное меню, которое включает перечень допустимых типов работ:

- генерация ДОЭ,
- моделирование ДОЭ,
- преобразование файлов,
- визуализация файла на экране.

Для выхода из программы необходимо активизировать клавишу 'QUIT' корневого меню.

2.1. ГЕНЕРАЦИЯ ДОЭ

Для расчета маски ЭКО необходимо определить ЭКО (выбрать тип оптического элемента и задать его параметры), определить тип и параметры кодирования, определить куда выводить маску элемента. Расчет выполняется при активизации клавиши 'DOE Generation' подменю расчета маски ЭКО.

Информационное окно показывает выбранные варианты и параметры.

Информацию, выводимую в информационное окно, можно разделить на 3 части:

- верхняя содержит тип ЭКО (DOE), его параметры и размеры маски в отсчетах,
- средняя содержит тип кодирования (Coding),
- нижняя содержит направление вывода маски и параметры вывода (Output).

Если хотя бы один из пунктов (DOE, Coding, Output) не определен, то расчет маски выполняться не будет.

Изменение типа ЭКО, кодирования или вывода не отменяют других определений. Т.е. можно, например, определить тип оптического элемента и его кодирование, а затем неоднократно повторить расчет ЭКО с различными типами вывода.

При расчете маски производится вывод изображения маски в графическое окно в соответствии с параметрами. Вывод по умолчанию выполняется в серой палитре, а по окончании генерации выполняется перевод в палитру псевдоцветов. Имеется возможность просмотра выведенного изображения в серой и негативной палитрах, а также палитре псевдоцветов. Для смены палитры используются кнопки G(grey), N(negative), C(color). Кнопка ESQ используется для прерывания расчета маски. В случае прерывания расчета маски с выводом в файл, файл вывода удаляется.

Подробное описание реализованных ЭКО и типов кодирования приведены ниже.

Для вывода маски предлагаются следующие варианты:

- всю маску на экран в максимальном масштабе;
- часть маски с заданием масштаба и начальной точки;
- в файл во внутреннем формате ПО (".PIC") в различных вариантах типа отсчета (float, bit8, bit1) в сочетании с выводом всей маски на экран.

Масштаб - целое число, отличное от 0. Если масштаб больше 0, то вывод идет с увеличением, если меньше - с уменьшением.

При выводе на экран задается признак бинаризации (0-полутоновой шаблон, целое число, большее 0 - индекс бинарного шаблона).

При выводе в файл необходимо задать имя выходного файла, а для файла типа bit1 (бит/отсчет) необходимо задать индекс бинарного шаблона.

2.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДООЭ

При выборе данного типа работы предлагается выполнить геометрическое моделирование или БПФ, результатом работы БПФ всегда является файл комплексного поля.

БПФ может быть выполнено для поля заданного фазой, амплитудой, фазой и амплитудой, или комплексного поля. При задании БПФ кроме имен входных и выходного файлов задается параметр, определяющий какое - прямое или обратное - БПФ требуется выполнить.

2.3. МЕТОДИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМАТОВ ФАЙЛОВ

При выборе данного типа работы предлагаются следующие варианты преобразования файлов:

- PIC в PIC с указанием типа отсчета (-1 - float, 0 - bit8, целое число большее 0 - bit1), в случае bit1 тип отсчета есть индекс бинарного шаблона (1,2,3 или 4);

- PIC в TIFF;

- TIFF в PIC;

- PIC в свободный формат (без заголовка).

Для всех преобразований файлов необходимо задать имена входного и выходного файлов.

При преобразовании PIC в PIC можно изменить тип отсчета, для всех остальных преобразований поддерживается только тип отсчета bit8 (байт/отсчет).

Во время преобразования файлов в графическом окне отображается маска, выводимая в выходной файл; а в информационном окне указываются имена входного и выходного файлов и тип отсчета (для варианта PIC-PIC).

Вывод маски в графическое окно по умолчанию выполняется в серой палитре, а по окончании вывода выполняется перевод в палитру псевдоцветов. Для смены палитры используются кнопки G(grey), N(negative), C(color). Кнопка ESQ используется для прерывания работы. В случае прерывания преобразования файлов, файл вывода удаляется.

2.4. МЕТОДИКА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФАЙЛОВ

Предлагается два варианта визуализации файла:

- 2х-мерная маска как при генерации;
- 3х-мерное изображение маски как поверхности построенной на сетке параметрических линий, причем после завершения визуализации можно поворачивать маску на экране, используя стрелки.

Для первого варианта необходимо задать имя файла, и в случае визуализации части маски - масштаб и начальную точку.

Для 3х-мерной визуализации необходимо задать имя файла и число визуализируемых точек на одной стороне маски (но не более 90).

3. СПЕЦИФИКАЦИЯ ЭКО : ДЕТАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

Описываемое программное обеспечение предоставляет возможность расчета масок следующих оптических элементов и оптических фильтров.

3.1. ДИФРАКЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ И ПРИЗМЫ

- Радиальная линза; предназначена для фокусировки плоского волнового фронта в точку [2].
- Цилиндрическая линза; предназначена для фокусировки плоского волнового фронта в прямую [2].
- Скрещенная астигматическая линза; предназначена для создания астигматического волнового фронта.
- Бифокальная линза; предназначена для фокусировки лазерного пучка круглого сечения в 2 точки на оптической оси [3].
- Призма; предназначена для поворота волнового фронта

3.2. ОПТИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

- Фильтр Винера; предназначен для устранения дефокусировки при наличии аддитивного шума [11].
- Фильтр Тихонова; предназначен для регуляризованной фильтрации дефокусированного изображения [11].

- Фильтр, согласованный с базисными функциями разложения Карунена-Лоева; предназначен для оптического разложения исходного изображения по оптимальным базисным функциям [10].

3.3. ФОКУСАТОРЫ

Фокусаторы - это ДОЭ, предназначенные для фокусировки лазерного излучения в заданную область пространства с требуемым распределением интенсивности [1, 4-8]. Описываемое ПО включает в себя программы для расчета следующих фокусаторов:

- Фокусатор в кольцо; предназначен для фокусировки плоского волнового фронта в кольцо [4,5].
- Фокусатор в продольный отрезок; предназначен для фокусировки плоского волнового фронта в продольный отрезок [4].
- Фокусатор в поперечный отрезок; предназначен для фокусировки плоского волнового фронта в поперечный отрезок [5,6].
- Фокусатор в крест; предназначен для фокусировки плоского волнового фронта круглого сечения в крест [7].
- Фокусатор в контур квадрата; предназначен для фокусировки плоского волнового фронта круглого сечения в контур квадрата [7].
- Квазипериодический ДОЭ; предназначен для фокусировки плоского волнового фронта в квадратную область [7].
- Фокусатор из гауссова пучка в круглый пучок с плоской вершиной; предназначен для фокусировки гауссова пучка в круглую плоскую область с равномерным распределением интенсивности [9].

3.4. КОМПЕНСАТОРЫ

- Компенсатор сфера-поверхность второго порядка; предназначен для преобразования сферического волнового фронта в волновой фронт, соответствующий поверхности вращения второго порядка [9] (параболоид, эллипсоид или гиперпболоид).

3.5. ДОЭ, СОГЛАСОВАННЫЕ С МОДАМИ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (МОДАНЫ)

- Моданы Гаусса-Лагерра; предназначены для формирования поперечно-модового состава когерентного излучения в соответствии с модовыми функциями Гаусса-Лагерра [12].
- Моданы Гаусса-Эрмита; предназначены для формирования поперечно-модового состава когерентного излучения в соответствии с модовыми функциями Гаусса-Эрмита [12].

4. ОПИСАНИЕ МЕТОДОВ КОДИРОВАНИЯ

4.1. КОДИРОВАНИЕ ФАЗЫ

-Приведение к интервалу $[0, 2\pi]$; приведение значений фазовой функции к диапазону $[0, 2\pi]$ проводится используя обычное деление действительного числа на 2π по модулю 2π .

-В амплитуду с наложением несущей частоты; приведение значений фазы в амплитуду с наложением несущей частоты проводится по формуле:

$$A(u, v) = \cos(\varphi(u, v) - 2\pi\nu_1 u - 2\pi\nu_2 v)$$

где ν_1, ν_2 - вводимые пространственные частоты.

4.2. КОДИРОВАНИЕ АМПЛИТУДЫ

-В амплитуду с наложением несущей частоты [15]; для введения высокочастотной несущей в синтезируемый элемент с амплитудным пропусканием $A_c(u, v)$ используется следующая формула

$$A_c(u, v) = A(u, v) \cos(2\pi\nu_1 u + 2\pi\nu_2 v) + \text{const}$$

где ν_1, ν_2 - вводимые пространственные частоты.

-Преобразование знакопеременной функции в неотрицательную амплитуду; для перехода от амплитудной функции пропускания к неотрицательной амплитуде используется операция нахождения модуля от действительного числа.

-Преобразование амплитуды в интенсивность; для перехода от амплитудной функции пропускания к интенсивности используется нахождение квадрата модуля действительного числа.

-В фазу с наложением пространственной несущей частоты методом Кирка-Джонса [15]; для синтеза чисто фазового элемента используется метод Кирка-Джонса, при котором фазовая функция синтезируемого элемента рассчитывается следующим образом:

а) в случае использования синусоидальной несущей и нулевого дифракционного порядка

$$\varphi(u, v) = J_0^{-1} \left(\frac{|A(u, v)|}{A_{\max}} \right) \cos(2\pi(\nu_1 u + \nu_2 v)),$$

где J_0^{-1} - обратная Бессель-функция нулевого порядка; $|A(u, v)|$ - модуль амплитудной функции пропускания в точке (u, v) ;

$$A_{\max} = \max_{u, v} |A(u, v)|;$$

ν_1, ν_2 - вводимые пространственные частоты.

б) в случае использования прямоугольно-импульсной несущей и нулевого дифракционного порядка

$$\varphi(u, v) = a \cos\left(\frac{|A(u, v)|}{A_{\max}}\right) (-1)^{|v_1 u + v_2 v|}.$$

с) в случае использования синусоидальной несущей и первого дифракционного порядка

$$\varphi(u, v) = J_1^{-1}\left(1.84 \frac{|A(u, v)|}{A_{\max}}\right) \cos(2\pi(v_1 u + v_2 v))$$

где J_1^{-1} - обратная Бессель-функция первого порядка.

д) в случае использования прямоугольно-импульсной несущей и первого дифракционного порядка

$$\varphi(u, v) = a \sin\left(\frac{|A(u, v)|}{A_{\max}}\right) (-1)^{|v_1 u + v_2 v|}.$$

На рис. 1. представлен результат численного моделирования голограммы Кирка-Джонса, восстанавливающей полезное изображение в 1 и -1 порядках дифракции.

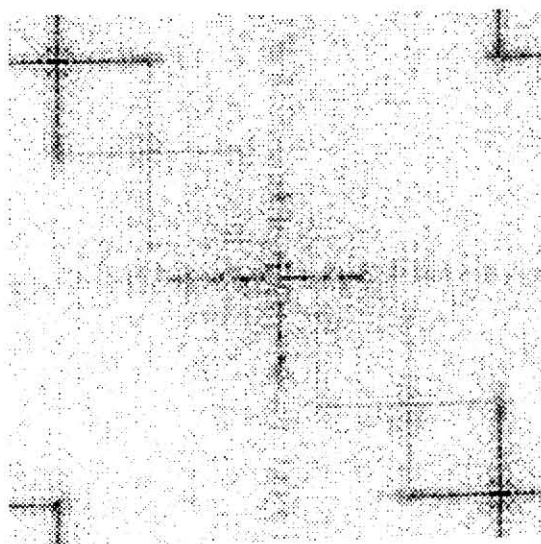


Рис. 1.

4.3. КОДИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АМПЛИТУДЫ

Для преобразования файлов, содержащих отсчеты функции комплексного пропускания в файлы отсчетов функции пропускания амплитудных или фазовых голограмм в описываемое ПО включены программы, реализующие методы кодирования Ломана, Бэркхардта, Кирка-Джонса, Ли [16]. Кроме того, имеется возможность непосредственного выделения модуля и фазы функции комплексного пропускания.

5. ПРИМЕР РАБОТЫ С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

5.1. ПРИМЕР РАСЧЕТА ДОЭ

В качестве примера рассмотрим расчет фокусатора в кольцо, выполненного как дополнение к линзе с фокусом f , при параметрах: радиус кольца $\rho_0=2$ мм, радиус фокусатора $R=6.4$ мм, фокус $f=1000$ мм, длина волны $\lambda=0.6328$ мкм.

Расчет ДОЭ состоит из следующих этапов:

1. Ввод расчетных параметров ДОЭ
2. Выбор типа кодирования фазовой функции ДОЭ
3. Определение вывода отсчетов фазы ДОЭ
4. Формирование фотошаблонов ДОЭ

Рассмотрим пошаговое выполнение вышеприведенных этапов.

1. Для ввода расчетных параметров ДОЭ необходимо последовательно выбрать пункты меню 'DOEDesign', 'DOEDefinition', 'Focusator', затем 'Focusator At Ring' и ввести требуемые значения параметров:

```
Radius 6.4
Focus 1000.0
Radius of ring 2.0
Wavelength(micron) 0.6328
Discretization Step 0.05
With Lens/Else 0/1 1
```

После активизации клавиши 'Enter' введенные параметры будут отображены в информационном окне. Следует отметить, что введенное значение шага дискретизации определяется пользователем из условия передачи структуры зон ДОЭ. Для введенных параметров размер зоны микрорельефа 0,3 мкм. Введенное значение шага дискретизации обеспечивает достаточную точность (шесть точек на зону) представления фазовой функции ДОЭ.

2. Стандартным типом кодирования для ДОЭ является выбор интервала приведения фазы по уровню $2\pi M$. Указанное кодирование осуществляется последовательным выбором пунктов меню 'Coding Definition', 'from Phase' и 'to $[0, 2\pi M]$ '.

В пункте меню 'to $[0, 2\pi M]$ ' следует ввести значение M . Для рассматриваемого примера использовалось $M=1$. Информация о типе кодирования и интервале приведения фазы выводится в информационное окно.

3. Последовательный выбор пунктов меню 'Output Definition' и 'File with Whole View' позволяет определить вывод отсчетов фазы ДОЭ в файл в одной из следующих форм:

- Float file - 4 байта на отсчет
- Byte file - 1 байт на отсчет
- Bit file - 1 бит на отсчет

Выбор пунктов меню 'Output Definition' и 'Only View' определяет вывод файла только на экран дисплея. Для рассматриваемого ДОО был определен вывод в файл в форме байт на отсчет.

4. Формирование выходного файла кодированных отсчетов фазовой функции ДОО осуществляется переходом к пункту 'DOE Generation'. При установленном выводе в файл маска элемента также визуализируется в графическом окне. На рис.2 приведен экран дисплея после успешной генерации полутонного фотошаблона рассмотренного фокусатора в кольцо. Для фотолитографической технологии изготовления ДОО требуется формирование комплекта бинарных фотошаблонов. Расчет бинарных фотошаблонов производится выбором пунктов меню 'FileConversion', 'PIC-PIC'.

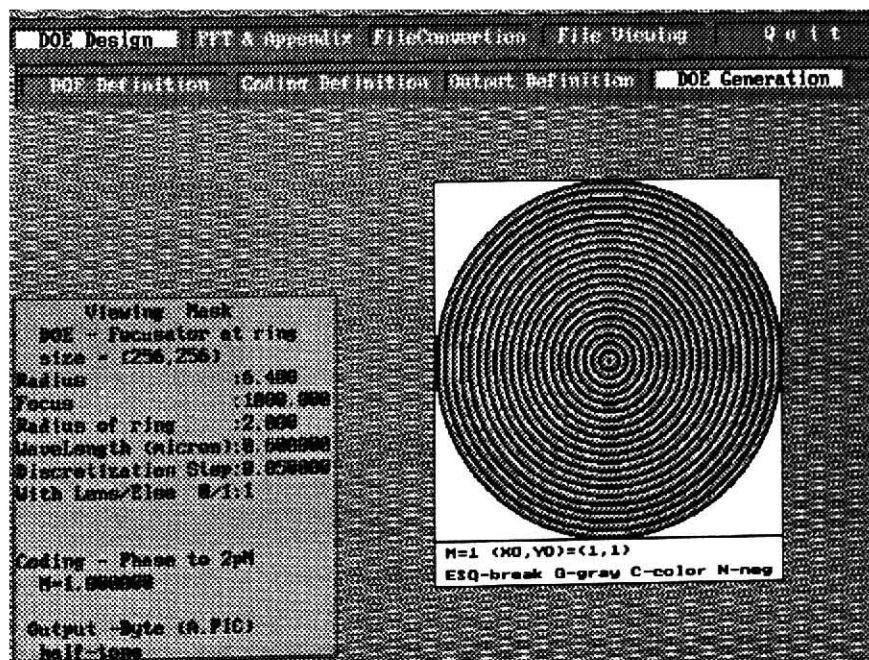


Рис. 2.

5.2. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ДОО

Для моделирования работы фокусаторов в ПО включена программа, выполняющая БПФ над файлом типа float, содержащим отсчеты фазовой функции ДОО. Файл отсчетов фазы, полученный в пункте 5.1, был сгенерирован в форме байт на отсчет. Для моделирования работы вышерассмотренного ДОО необходимо регенерировать файл с выполнением всей цепочки операций приведенных в пункте 5.1. При этом на этапе 3 следует выполнить следующие пункты меню: 'Output Definition', 'File with Whole View', 'Float file'. Далее для моделирования работы рассмотренного фокусатора необходимо последовательно выбрать пункты меню 'DOE Simulation', 'FFT from Files', 'from Phase Float File', ввести имя файла, содержащего отсчеты фазовой функции фокусатора, имя выводного файла и нажать клавишу 'Enter'. Результатом БПФ всегда является комплексный файл. Для визуализации результата моделирования работы фокусатора необходимо получить файл, содержащий отсчеты амплитуды в фокальной плоскости. Для этого последовательно выбираются

пункты меню 'Creating File from Complex File', 'Float File Amplitude'. Далее вводятся имена входного и выходного файлов. Для визуализации результата моделирования необходимо последовательно выбрать пункты меню 'File Viewing', '2D Visualisation', 'Whole Picture', ввести имя файла, содержащего отсчеты амплитуды в фокальной плоскости и нажать клавишу 'Enter'. На рис.3 приведено изображение экрана дисплея после завершения моделирования работы фокусатора в кольцо при параметрах, приведенных в пункте 5.1.

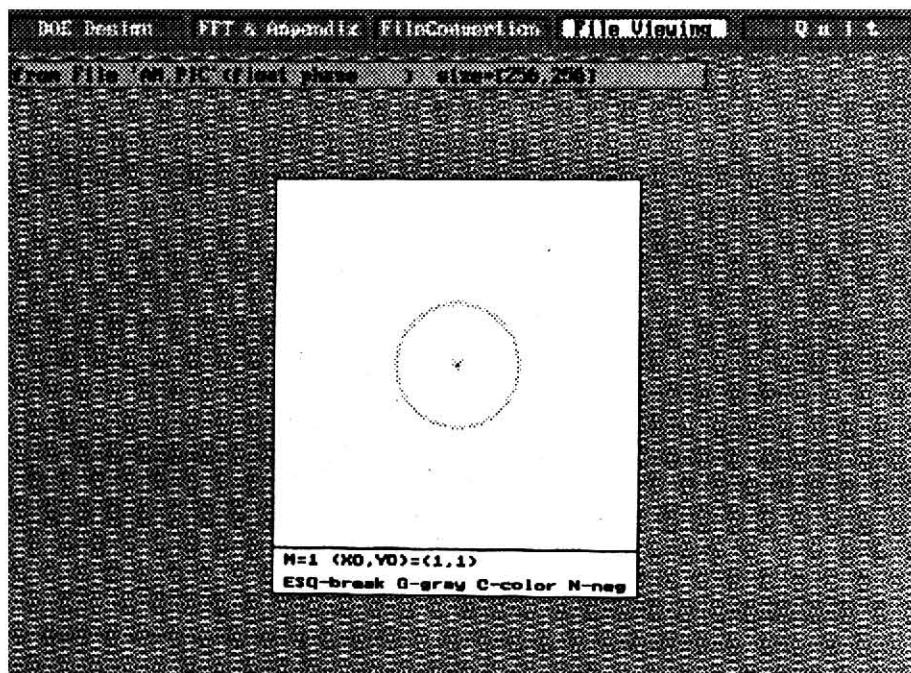


Рис. 3.

6. ФОРМИРОВАНИЕ И ВЫВОД СОСТАВНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для формирования и вывода составных изображений в ПО имеется программа COMPOSIT. Составное изображение формируется из фрагментов. Фрагмент формируется из изображений, хранящихся в файле формата ".PIC". Возможность формирования составных изображений упрощает процесс изготовления масок, позволяет более рационально использовать площадь пленки, снижает количество ошибок при выводе на пленку нескольких изображений. Работа с программой выполняется в диалоговом режиме с использованием меню.

Составное изображение - это поле, на которое накладываются фрагменты. Размеры поля определяют размеры составного изображения. Фрагмент - это изображение, формируемое по изображению, хранящемуся в файле; фрагмент задается размерами, масштабом увеличения и именем файла; если размер фрагмента больше размера отмасштабированного изображения файла, то изображение фрагмента получается мультиплицированием отмасштабированного изображения из файла; если размер фрагмента меньше размера отмасштабированного изображения файла, то изображение фрагмента получается усечением отмасштабированного изображения из файла. Все размеры изображений задаются в отсчетах.

Данная программа позволяет разделить процесс формирования описания составного изображения и вывод его на фотопостроитель или в файл, т.к. подготовленное описание можно сохранить в файле, а затем прочитать из него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное программное обеспечение является полезным инструментом для синтеза дифракционных оптических элементов различного назначения. Имеется возможность расчета файлов, содержащих массивы отсчетов кодированной функции пропускания оптических элементов и их визуализации. Использование преобразования Фурье предоставляет хорошие возможности для компьютерного моделирования оптических элементов. Имеется программа COMPOSIT для формирования составного изображения. В настоящее время завершена разработка Windows-версии описываемого программного обеспечения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы приносят свои благодарности Я.Е. Тахтарову, А.В. Устинову, А.Г. Храмову за оказанную помощь в работе, а также Министерству науки и технической политики РФ, финансировавшему эту разработку.

Л и т е р а т у р а

1. Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Достижения и проблемы.//Компьютерная оптика, вып.1., М:МЦНТИ, 1987, с.5-17.
2. Doskolovich L.L., Golub M.A., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Uspleniev G.V. Special diffractive lenses .// Proceeding SPIE, 1993, v.1780, pp.393-402.
3. Golub M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A. Computer generated diffractive multi-focal lens.// Journal of Modern Optics, 1992, v.39, No 6, pp.1245-1251.
4. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики.// Автометрия, 1988, No 1, с. 70-82.
5. Golub M.A., Sisakian I.N., Soifer V.A. Infra-red radiation focusators.// Optics and Lasers in Engineering, 1991, v.15, No 5, pp. 297-309.
6. Kazanskiy N.L., Soifer V.A. Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment.// Optik, 1994, v.96, No 4, pp.158-162.
7. Soifer V.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Multifocal diffractive elements.// Optical Engineering, 1994, v. 33, No 11, pp. 3610-3615.
8. Голуб М.А., Досколович Л.Л., Казанский Н.Л., Сойфер В.А., Харитонов С.И. Исследование фокусаторов в прямоугольник методом вычислительного эксперимента.// Компьютерная оптика, вып.10-11, М.: МЦНТИ, 1992, с.110-112.
9. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики.// Компьютерная оптика, вып.7, М.: МЦНТИ, 1990, с.3-26.

10. *Soifer V.A., Golub M.A., Khonina S.N.* Decorrelated features of images extracted with the aid of optical Kharunen-Loeve expansion. // Pattern Recognition and Image Analysis, 1993, v.3, No 3, pp. 289-295.
11. *Kalestynski A.* Deblurring of images by the use of a computer generated quasi-Wiener spatial filter. // Proceedings SPIE, 1989, v. 1183, pp. 551-556.
12. *Soifer V.A., Golub M.A.* Laser beam mode selection by computer generated holograms. Boca Raton: CRC Press, 1994.
13. *Farn M.W.* Modelling of diffractive optics . //OSA Proceedings of the International Optical Design Conference, 1994, v.22, pp. 246 -250.
14. *Воронцов М.А., Шмальгаузен В.И.* Принципы адаптивной оптики. М.: Наука. - 1985. - 335с.
15. *Kirk J.P., Jones A.L.* Phase-only complex valled spatial filter .// JOSA vol. 61, N 8, 1971, pp. 1023-1028
16. *Ярославский Л.П., Мерзляков Н.С.* Цифровая голография. М.: Наука, 1982.

"МИКРОЭЛЕКТРОНИКА-94"

2 части, 736 стр., М., 1994

Тезисы докладов Российской конференции, 28.11-3.12.1994, Звенигород

Конференция была организована Физико-техническим институтом РАН (директор, академик К.А.Валиев). Доклады посвящены современным проблемам субмикронной технологии ультрабольших интегральных схем, нанотехнологии и приборам микро- и наноэлектроники. В частности, это субмикронная литография: оптическая, электронная, ионная, рентгеновская; резисты. Сухие процессы в литографии. Значительное количество докладов посвящено технологии легирования, процессам нанесения, травления и планаризации, использованию фотонных, электронных и ионных пучков, плазмы и т.п., для стимуляции процессов. Обсуждались проблемы оборудования, в том числе, кластерных систем и проблемы организации в России субмикронного производства.

Стоимость одного комплекта (2 части) - 15 ам.долл.
(Оплата в рублях по курсу ЦБ РФ на момент расчетов)

Заказы принимаются по адресу:
Россия, 125252, Москва, ул.Куусинена, 21б, МЦНТИ, СОПИ.
Телефакс: (095) 943-00-89 Справки по телефону: 198-72-10
